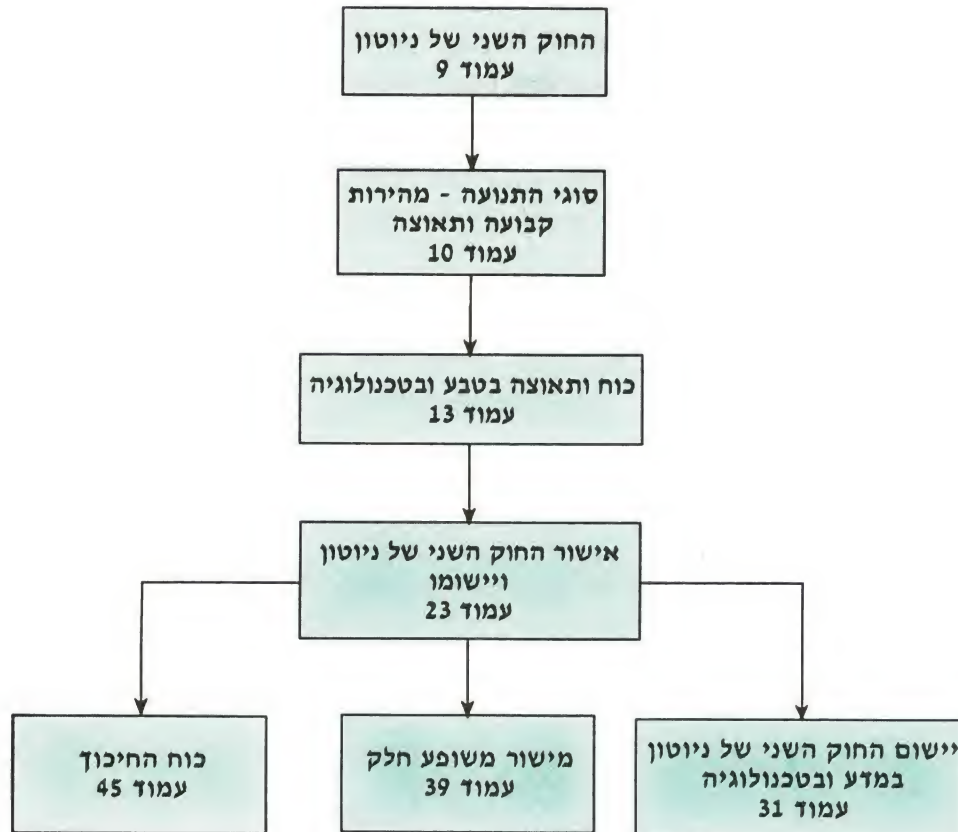


# פרק 1: החוק השני של ניוטון

תרשים מהלך נושא הלימוד



עם סיום נושא הלימוד אתה אמור:

1. להכיר את הקשר בין הכוח והתאוצה.
2. להכיר את הקשר בין התאוצה ובין המסה.
3. לדעת את החוק השני של ניוטון.
4. לדעת כיצד מיושם החוק השני של ניוטון בכוחות המשיכה על פני כדור הארץ ועל הירח.
5. לדעת כיצד מיושם החוק השני של ניוטון בבעיות טכנולוגיות.
6. לדעת כיצד לטפל בכוחות חיכוך.
7. לדעת כיצד לפתור בעיות של תנועה במישור משופע.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנם הושגו.



## 1.א סוגי התנועה - מהירות קבועה ותאוצה



1. התבונן בגופים הנעים סביבך: מכוניות ואופנועים נעים על הכבישים. מטוסים ומסוקים טסים באוויר. אוניות וסירות משייטות בלב ים ובנהרות. ייתכנו שני סוגים של תנועה: האחת במהירות קבועה, והשנייה במהירות משתנה.

תנועה תהיה בתאוצה (חיובית) כאשר מהירותה \_\_\_\_\_<sup>1</sup>

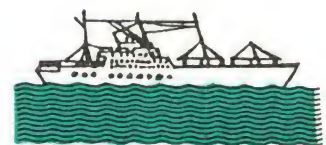
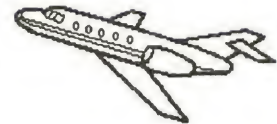
(תגדל/תקטן/תישאר קבועה). תנועה בתאוצה [תאוצה] \_\_\_\_\_<sup>2</sup>

(שלילית/חיובית/אפס) תתקיים כאשר המהירות \_\_\_\_\_<sup>3</sup>

(תגדל/תקטן/תישאר קבועה).

2. לפניך מצבי תנועה של גופים שונים (עמודה 1 בטבלה). אפיין כל אחד ממצבי התנועה. מלא את עמודה 2 בטבלה; את עמודה 3 מלא בהגיעך לסעיף 1.א.5.

3	2	1
הכוח שגרם לתנועה זו	סוג התנועה (תאוצה/תאוצה/מהירות קבועה)	מהות התנועה
5		הרמת משקולות מהקרקע <sup>4</sup>
7		נעיצת מסמר בקיר <sup>6</sup>
8	מהירות קבועה	אופנוע נוסע, כאשר מחוג המהירות מראה בקביעות 80 ק"מ שעה
10		מכונית ברמזור, כאשר הרמזור האדום מוחלף לירוק <sup>9</sup>
12		מכונית מתקרבת לרמזור אדום <sup>11</sup>
14		שחיין בתחילת דרכו <sup>13</sup>



ציור 1:  
תנועתם של כלי רכב

### נסכם:

קיימים שני סוגים של תנועה:

א. במהירות קבועה;

ב. בתאוצה (מהירות משתנה).



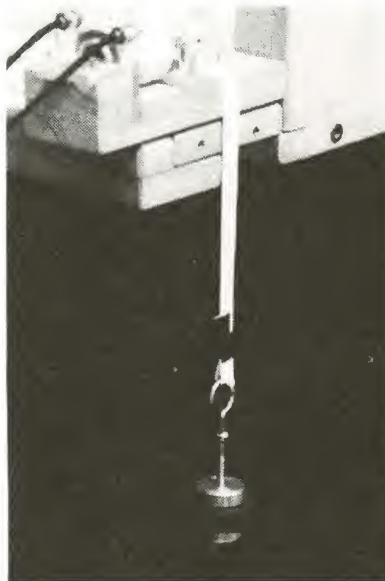
לפניך **זמזם** או רשם זמן. ניסוי מכי 31. חבר אותו למתח חילופין של 6 וולט. זרם החשמל העובר דרך הזמזם גורם לו להקיש בקצב קבוע. מרווח הזמן שבין כל שתי נקישות סמוכות (עוקבות) הוא 0.02 שניות. זמן זה נקבע על-פי הזמן הדרוש לשינוי כיוון זרם החילופין. הפסק את פעולת הזמזם.

קח את הזמזם וקבע אותו בגובה של כ-1 מ' מעל פני הקרקע. העבר סרט נייר דרך חריצי הזמזם ומתחת לנייר הפחם (קופי). הדבק את סרט הנייר למשקולת. משוך את הנייר כלפי מעלה כך שהמשקולת תיצמד אל הזמזם. במצב זה, רובו של סרט הנייר ישתלשל מאחורי הזמזם (צור 2).

הפעל את הזמזם ושחרר את המשקולת כך שתיפול ארצה. תנועת המשקולת נקראת נפילה חופשית.

על סרט הנייר מסומנות עתה נקודות. בחר מרווח שבין 2 נקודות עוקבות (צור 3) וסמן את המרחק בין 2 הנקודות ב- $X_1$ . אורכו של  $X_1$  הוא: <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ ס"מ. המרווח שאחריו הוא  $X_2$ . אורכו של  $X_2$  הוא  $X_2$  <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ ס"מ. הזמן שבו נעה המשקולת בשני המרווחים היה \_\_\_\_\_ (שווה/שונה). לכן המהירות במרווח  $X_2$  <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (גדולה/קטנה) מהמהירות במרווח  $X_1$ .

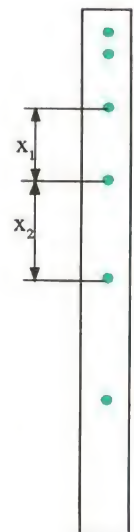
אם נתבונן היטב, נראה כי המהירויות בין מרווח אחד לבא אחריו הולכות ו <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (גדלות/קטנות). מסקנה: המשקולת נעה ב <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (תאוצה/מהירות קבועה/תאוצה).



מכי 31



צור 2:  
תאוצת משקולת  
הנעה כלפי הקרקע



צור 3:  
הסימונים על סרט הנייר,  
המתקבלים בנפילה  
חופשית

5. מה גרם למשקולת ולסרט הנייר לנוע בתאוצה?  
 פעל עליהם <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (זרם חשמלי/כוח).  
 מסקנה: התאוצה נגרמה על ידי כוח.

חזור לטבלה שבסעיף 1.א 2 ורשום בעמודה 3 מהו הכוח שגרם  
 לתנועות המואצות הרשומות בעמודה 1.



**נסכם:**

לקיום תנועה בתאוצה דרוש כוח.



## 1.1 כוח ותאוצה בטבע ובטכנולוגיה

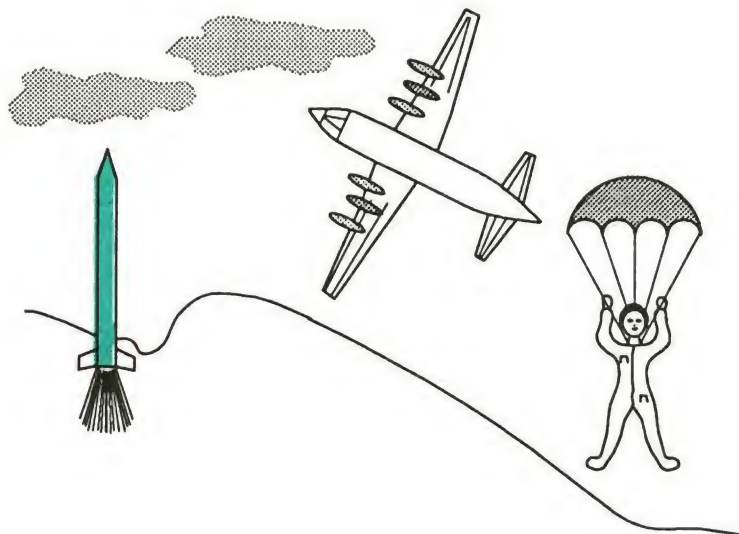
1. אחד הכוחות השכיחים ביותר הוא כוח <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (המשיכה/ הדחייה/המגע) של כדור הארץ.  
 כוח זה פועל תמיד בכיוון <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (אנכי/אופקי) <sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
 (צפונה/מזרחה/מעלה/מטה).  
 בניסוי שביצעת, פעל כוח המשיכה על המשקולת והיא נעה <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (בתאוצה/במהירות קבועה) כלפי מטה.

2. רשום איזו מבין התנועות שלהלן נגרמת על ידי כוח המשיכה של כדור הארץ (ציור 4).

1. ברד יורד <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא)
2. מטוס ממריא <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא)
3. צנחן נופל בצניחה חופשית <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא)
4. טיל המשוגר כלפי מעלה <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא)
5. תיבה מחליקה על מדרון משופע <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא)
6. לבה גולשת מפסגת הר געש <sup>10</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא)



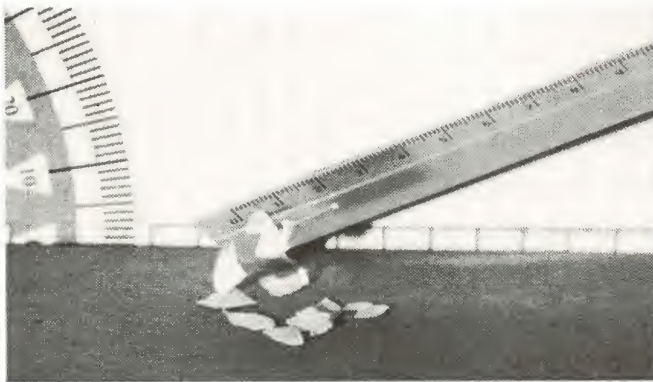
כוח המשיכה של כדור הארץ גורם לתנועה מואצת.



ציור 4:  
 חלק מתנועות אלה  
 נגרם על ידי כוח המשיכה

3. שפשף את קצה מוט הפלסטיק שבידך בעזרת מטלית (ציור 5). פזר על גבי שולחן פיסות נייר דקות. קרב את קצה המוט המשופשף אל פיסות הנייר. תאר את המתרחש: <sup>1</sup>\_\_\_\_\_

פיסות הנייר היו תחילה במנוחה. לאחר קירוב המוט הן היו בתנועה. לכן, הן נעו ב <sup>2</sup>\_\_\_\_\_ (מהירות קבועה/תאוצה). הכוח שהפעלת הוא כוח חשמלי.

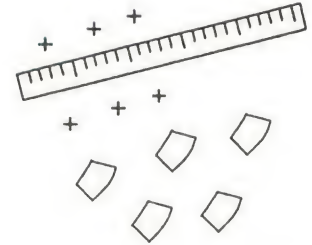


הכוח החשמלי גורם לתאוצה.

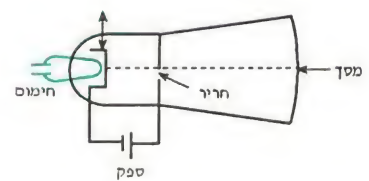
4. האור המרצד על מסך הטלוויזיה נוצר כתוצאה מפגיעת אלקטרונים בו. האלקטרונים עצמם, לפני פגיעתם במסך, מואצים על ידי כוח חשמלי. התכונן בציור 6. האלקטרונים יוצאים ממתכת A ומואצים על-ידי כוח <sup>3</sup>\_\_\_\_\_ (חשמלי/מגנטי/גרעיני) עד מתכת B. משם הם עוברים דרך החריר במהירות קבועה אל המסך.



מכי 32



ציור 5:  
כוח חשמלי מופעל  
על פיסות נייר



ציור 6:  
תנועת אלקטרונים  
במנורת המסך

הכוח החשמלי גורם לתאוצת אלקטרונים.



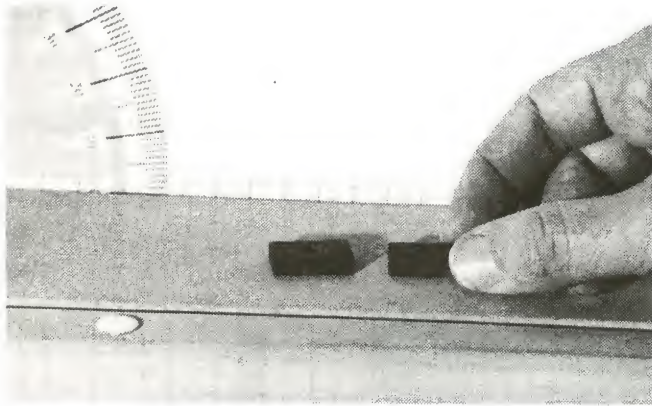
5. קרב את צדו הצפוני של מוט מגנטי שברשותך אל צדו הדרומי של מוט מגנטי אחר, המונח על השולחן (ציור 7).  
תאר מה קורה:



מכ" 33

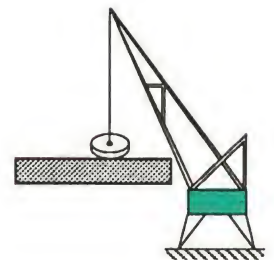
הפרד את המגנטים והפוך אחד מהם לצדו השני.  
עתה קרב קצה זה אל המגנט השני, כלומר צפון אל צפון או דרום אל <sup>2</sup>\_\_\_\_ (דרום/צפון). תאר מה קורה:

כוח מגנטי הוא כוח <sup>3</sup>\_\_\_\_ (מגע/דחייה) ומשיכה. על המוט המונח על השולחן פעל כוח <sup>4</sup>\_\_\_\_ (חשמלי/גרעיני/מגנטי). מוט זה היה תחילה <sup>5</sup>\_\_\_\_ (בתנועה/במנוחה), ולאחר מכן הוא נע. כלומר, הייתה לו תאוצה.



ציור 7:  
כוחות מגנטיים

6. כוחות מגנטיים כאלה מופעלים במפעלי ברזל ופלדה. כדי להעלות גרוטאות ברזל אל קצה עגורן (ראה ציור 8), משתמשים במגנט חזק. המגנט נוצר על ידי זרם חשמלי (אלקטרומגנט). הכוח המגנטי גורם לגרוטאות לנוע מפני הקרקע בתאוצה <sup>6</sup>\_\_\_\_ (כלפי מעלה/הצידה/כלפי מטה).



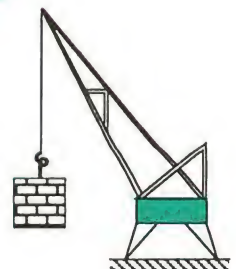
ציור 8:  
כוחות מגנטיים בתעשייה

ברזל ופלדה נעים בתאוצה כאשר מופעל עליהם כוח מגנטי.



## 7. מכונות ומכוניות

העגורן נקרא בשם זה על שום דמיונו לעוף העגור. הכבל שבקצה העגורן (ציור 9) מושך את המשא כלפי מעלה. הכבל מפעיל כוח על המשא שנמצא תחילה על הקרקע ב <sup>7</sup>\_\_\_\_ (מנוחה/תנועה).  
<sup>8</sup> לאחר שהכבל מושך את המשא כלפי מעלה, המשא ניתק <sup>8</sup>\_\_\_\_ (בתאוצה/במהירות קבועה).



ציור 9:  
עגורן

8.

תנועה מואצת מתקיימת בעיקר בתחבורה ביבשה, באוויר ובים.  
לתנועה זאת דרוש/ה <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (מרחק/מהירות/כוח).  
הכוח מופעל לרוב על-ידי מנוע הרכב.  
לפניך טבלה ובה רשימת כלי תחבורה. מלא אותה על-פי דוגמת  
הטיל.



ציור 10:  
כלי תחבורה

סוג כלי התחבורה	סוג המנוע בנזין, חשמל, קיטור וכוי	כיוון התאוצה (מעלה, קדימה)
מונית	2	3
מטוס	4	6
טיל	דלק מוצק	מעלה
צוללת גרעינית	6	7

כל המנועים הללו יוצרים על כלי התחבורה כוח, והכוח גורם  
לתאוצה.

נסכם:

תאוצה נגרמת על ידי כוח.





## ג.1 הקשר בין כוח, מסה ותאוצה

1. שני נהגים קנו במשותף מכונית "טרנטה" משומשת. "אי אפשר להתניע את המכונית הבוקר" קבע האחד. "למדנו" ענה השני, הידען שביניהם, "שכוח גורם לשינוי במהירות - לתאוצה. שב ליד ההגה ואני אדחף את המכונית בכוח זרועותי. המכונית תנוע <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (במהירות קבועה/בתאוצה). כאשר תגיע המכונית למהירות מספיק גדולה תתניע אותה על ידי הכנסתה הפתאומית להילוך שני". וכך היה. לאחר **שתי דקות** הייתה המכונית מותנעת. באחד הימים, אספו הנהגים ידיד לטיול במכוניות. והנה, לרוע המזל, שוב לא הצליחו להתניע את המכונית הסוררת. "מה לעשות?" שאל הידיד. "לדחוף, לדחוף" ענו לו השניים.



הידיד והידען דחפו יחדיו את המכונית כאשר הידען ממלמל לעצמו: "שנינו דוחפים את המכונית באותו כוח. לכן הכוח שפועל על המכונית הוא <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (כפול/פי שלושה) מאשר בפעם הקודמת". תוך דקה הגיעה המכונית למהירות שהושגה בפעם הקודמת, כלומר התאוצה הייתה <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (שווה ל/מחצית מ/כפולה מ) התאוצה הקודמת.



### מסקנה:

כוח כפול גורם לתאוצה כפולה (כאשר המסה נשארת קבועה).



2. למכוניות המופיעות בטבלה 1 להלן, אותה מסה. לכל אחת מהמכוניות מנוע שונה, המפעיל על כל אחת מהן כוח אחר. כתוצאה מהפעלת הכוח יש למכוניות <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (מהירות קבועה/תאוצה) שונה.

טבלה 1: כוח המנוע והתאוצה של מכוניות בעלות אותה מסה

סוג המכונית	כוח (ניוטון)	תאוצה $\left(\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}\right)$	היחס בין הכוח לתאוצה
וולבו 2.0 240	2500	2	1250
רנו טורבו קוואדרה	4387.5	3.51	<sup>5</sup>
מיצובישי אקליפס טורבו	4926.5	3.97	<sup>6</sup>
פורד סיירה קודורט טורבו	5337.5	4.27	<sup>7</sup>

3. התבונן בטבלה 1. המכוניות מסודרות על-פי חוזק <sup>1</sup> \_\_\_\_\_  
(הגלגלים/גלגל התנופה/המנוע) שלהן. <sup>2</sup> ככל שהמנוע חזק יותר כך  
הוא מפעיל על המכונית כוח <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (גדול/קטן) יותר. מתוך  
הטבלה רואים שככל שהכוח גדול יותר, או המנוע <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (חלש/  
חזק) יותר, כך התאוצה <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (גדולה/קטנה) יותר.

מצא עבור כל מכונית מהו היחס בין הכוח לתאוצה ורשום את  
התוצאה בעמודה המתאימה. לדוגמה, עבור וולבו 2.0, היחס בין  
הכוח לתאוצה הוא:

$$\frac{2500}{2} = 1250$$

תוצאת החילוק נותנת גודל <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (משתנה/קבוע), והוא <sup>6</sup> \_\_\_\_\_  
(1500/1000/1250).

4. עבור כל המכוניות קיבלנו יחס <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/שונה) בין כוח  
המנוע ו <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצה/מרחק התנועה של  
המכונית).  
כלומר קיים יחס <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (הפוך/ישר/עולה/יורד) בין הכוח <sup>10</sup> \_\_\_\_\_  
והתאוצה. ולכן ככל שהכוח הפועל על אותה המסה גדל, כך <sup>10</sup> \_\_\_\_\_  
(גדלה/קטנה) התאוצה.  
האם יש לך איזו שהיא השערה בדבר משמעות התוצאה <sup>11</sup> \_\_\_\_\_  
(1500/1000/1250) שקיבלת? <sup>12</sup> \_\_\_\_\_



וולבו 2.0 כוח 2500 ניוטון

ככל שהכוח הפועל על מסה נתונה גדל, כך גדלה התאוצה.  
או:  
עבור מסה נתונה, התאוצה נמצאת ביחס ישר לכוח.

5. נחזור למכונית של שני הנהגים. כאשר היא **מלאה** בנוסעים והדוחף  
ה"מנוסה" דוחף אותה שוב באותו כוח כמקודם, המכונית  
(צוברת, אינה צוברת) מהירות כמו בפעמים הקודמות.  
מסת המכונית עם הנוסעים <sup>13</sup> \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה/לא השתנתה),  
ולכן באותו כוח מקבלים תאוצה <sup>14</sup> \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה)  
יותר. ככל שיירבו מספר הנוסעים המסה <sup>15</sup> \_\_\_\_\_ (תגדל/תקטן)  
והתאוצה תהיה קטנה יותר.

ככל שהמסה גדלה התאוצה קטנה (כאשר הכוח קבוע).

6. תעשיית המכוניות מייצרת מנועים דומים. מנועים אלה מפעילים <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (מהירות/כוח) שווה.

מנועים אלה לא יגרמו בהכרח לאותה תאוצה של המכוניות, וזאת, מפני ש <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (גובה/המסה/האורך/שטח הפנים) של המכוניות אינה/אינו שווה. נדגים זאת לפניכם בסעיף הבא.

7. בטבלה 2 שלפניך רשימת מכוניות בעלות אותו סוג מנוע. המנועים מפעילים כאמור כוח שווה על מרכב המכונית. למכוניות מסות שונות ולכן גם <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצות) שונות.

טבלה 2: תאוצות הנגרמות למכוניות על ידי כוח שווה

שם הרכב	מסת המכונית (ק"ג)	תאוצה (מטר/שנייה <sup>2</sup> )	מכפלת מסת בתאוצה
פורד פיאסטה 1.6	835	2.87	2396
וולבו 440 1.7	978	2.45	4
פיאט כרומה 2.0	1109	2.16	5
פיזו 505 1.8	1216	1.97	6



8. מהטבלה עולה שמסת המכוניות הולכת ו <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (קטנה/גדלה). תאוצת המכוניות על כן, הולכת ו <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה). במצב כזה, ייתכן שקיים יחס הפוך בין מסת המכוניות (בעלות אותו סוג מנוע) ובין תאוצתן. המנועים מפעילים כאמור כוח <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (שונה/שווה) על מרכב המכוניות.

נזכור:

יחס הפוך בין שני גדלים קיים כאשר מכפלתם תמיד קבועה.



נבדוק אם מכפלת מסת המכוניות בתאוצתן תיתן תמיד גודל <sup>10</sup> \_\_\_\_\_ (קבוע/משתנה), כלומר שקיים ביניהן יחס <sup>11</sup> \_\_\_\_\_ (הפוך/ישר).

לדוגמה, לגבי פורד פיאסטה 1.6, המכונית הראשונה ברשימה:  
 $2.87 \cdot 835 = 2396$



המשך להכפיל ורשום את התוצאות בעמודה המתאימה בטבלה.  
הממוצע של כל המכפלות הוא בערך <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (2396/2000)  
2500.

מכאן רואים, שכל שהמכונית כבדה יותר, כלומר בעלת <sup>2</sup> \_\_\_\_\_  
(נפח/מסה/שטח פנים/גובה) גדולה/ה יותר, כך תאוצתה <sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
(קטנה/גדולה) יותר, וזאת כשפועל עליה כוח קבוע של המנוע.  
התוצאות מראות שקיים יחס <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (הפוך/ישר/משתנה) בין  
התאוצה למסה.

האם יש לך השערה בדבר משמעות התוצאה הממוצעת 2396  
שקיבלת? <sup>5</sup> \_\_\_\_\_



התאוצה נמצאת ביחס הפוך למסה (כאשר הכוח קבוע).



9. בקיץ, מבליים שני חברינו הנהגים בים, ומנסים את מזלם ב"נהיגה"  
על חסקה (סירה בעלת משוט אחד).  
לפתע, נשמטה החסקה מתחת ידם והחלה לנוע לעבר קבוצת  
המתרחצים.  
כדי למנוע אסון שלחו שניהם את ידיהם ובכוחות אדירים, המנוגדים  
לכיוון תנועת החסקה, האטו את מהירותה, עד שממש ליד  
המתרחצים היא עצרה, והסכנה חלפה.  
שוב השתמשו גיבורינו בכוח, אך הפעם כדי <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (להגדיל/  
להקטין) את מהירות החסקה, כלומר לגרום לתאוצה.



#### לסיכום:

כוח מנוגד לכיוון תנועתו של גוף גורם להקטנת מהירותו.  
כוח הפועל בכיוון תנועתו של גוף גורם להגדלת מהירותו.



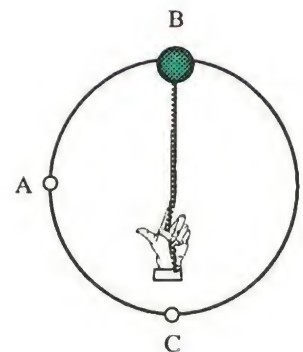
10. האם שמעת אי פעם על משחק ששמו חבגלי?  
חבגל הוא חיבור של שתי מילים: חבל ומעגל. במשחק זה מסובכים  
אופקית חבל שבקצהו קשורה אבן. האבן חייבת להסתובב במעגל  
במהירות שגודלה קבוע.





מכ' 34

11. כרוך את הטבעת על אצבעך וסובב את הכדור שבקצה השני של החבל, ניסוי מכ' 34. השתדל שהוא ינוע במהירות שגודלה קבוע. התבונן בכדור המסתובב (ציור 11).
- כיוון הכדור <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (משתנה/נשאר קבוע) במשך כל זמן הסיבוב. כיוון תנועת הכדור הוא תמיד בכיוון <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (מחוג ה/קוטר ה/מיתר ה/משיק ל) מעגל.
- בנקודה A מהירות הכדור היא בכיוון <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (אנכי מעלה/אופקי ימינה).
- בנקודה B מהירות הכדור היא בכיוון <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (אנכי מטה/אופקי ימינה).
- כדי להתמיד בתנועה המעגלית <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (דרוש/לא דרוש) להפעיל כוח. לפי התחושה באצבע, ניכר שכיוון הכוח הוא בכיוון מרכז המעגל. לדוגמה, כאשר הכדור נמצא בנקודה B התחושה היא שהאצבע מושכת את הטבעת בכיוון <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (אנכי מטה/אנכי מעלה).
- וכאשר הכדור נמצא בנקודה C התחושה היא שהאצבע מושכת את הטבעת בכיוון <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (אנכי מטה/אנכי מעלה). בתנועה במעגל דרוש כוח לקיום התנועה.
- הכוח המכוון אל <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (היקף/מרכז) המעגל גורם לשינוי <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (גודל/כיוון) המהירות של הגוף המסתובב.



ציור 11:  
תנועה מעגלית של כדור

לשינוי כיוון מהירות של גוף דרוש כוח.



12. נתונה מכונית הנעה במהירות שגודלה קבוע מסביב לכיכר עגולה (ציור 12). תנועת המכונית היא במסלול <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (של קו ישר/מעגלי/של קו שבור). בתנועה זאת <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (גודל/כיוון) המהירות משתנה. הכוח שגורם לשינוי כיוון תנועת המכונית הוא כוח החיכוך. כוח זה מופעל על המכונית על ידי הכביש בכיוון <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (מרכז/היקף) המעגל.



ציור 12:

מכונית נעה בסיבוב במהירות שגודלה קבוע

13. מי מאתנו לא נהנה מסיבוב בקרוסלה? אנחנו היושבים בקצה הקרוסלה נעים בתנועה <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (מעגלית/בקו ישר). המהירות שלנו מכוונת בכיוון <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (הרדיוס/הקוטר/המיתר/המשיק) של המעגל. כיוון זה <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (קבוע/משתנה) במשך כל זמן התנועה. שינוי כיוון המהירות נגרם על ידי <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (אנרגיה/כוח) הפועל על המושב בו אנחנו יושבים והמכוון/ת אל מרכז הסיבוב.



ציור 13:

קרוסלה. התנועה של היושב בה היא תנועה מעגלית

על גוף הנע בתנועה מעגלית, פועל כוח כלפי מרכז המעגל.



## 1.1 אישור החוק השני של ניוטון ויישומו



זה גם היחס שבין הכוח  
לתאוצה

### 1. נחזור לטבלה מסי' 1 שבסעיף 2.ג.1.

על כל מכונית המצוינת בטבלה פעל כוח. כתוצאה מהפעלת כוח  $F$  על המכונית, היא נעה ב \_\_\_\_\_ (מהירות קבועה/תאוצה)  $a$ . עבור מכונית המיצובישי קיבלנו:

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad \text{_____} \quad \text{_____}$$

ניוטון  $F =$  (הכוח שפועל עליה).

$$\frac{F}{a} = \text{_____} = \text{_____}$$

התוצאה שקיבלת היא מסת המכונית  $m$ . \_\_\_\_\_ ק"ג  $m$ . תוצאה זו קיבלנו עבור כל המכוניות, כי בחרנו מכוניות בעלות אותה/ו \_\_\_\_\_ (נפח/שטח פנים/מסה). לסיכום נאמר, שעבור מסות שוות נקבל יחס \_\_\_\_\_ (ישר/הפוך) בין הכוח  $F$  שפועל על המסות ובין התאוצות  $a$ .

$$\frac{F}{a} = m$$

ומהו הקשר שיש לבדוק כאשר המסות שונות? במצב כזה עלינו להפעיל על המכוניות כוח קבוע, ואז לבדוק את הקשר בין התאוצה  $a$  והמסה  $m$ .

התבונן עתה בטבלה 2 בסעיף 7.ג.1. עבור מכונית הוולבו:

$$F = \text{ק"ג} \quad \text{_____}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad \text{_____}$$

המכפלה של המסה  $m$  בתאוצה  $a$  היא:

$$m a = \text{_____}$$

$$m a = \text{ניוטון} \quad \text{_____}$$

התוצאה שקיבלנו היא הכוח  $F$  שפעל על המכונית. מהטבלה רואים, כי \_\_\_\_\_ (המכפלה/החילוק) של מסת המכונית בתאוצה  $a$  נותנת תמיד גודל \_\_\_\_\_ (קבוע/משתנה), שהוא הכוח  $F$  שפעל על המכונית.

התוצאה שקיבלנו היא: התאוצה  $a$  נמצאת ביחס הפוך למסה  $m$  (בכוח קבוע), שהרי \_\_\_\_\_ (חילוק/מכפלה) המסה בתאוצה  $a$  נותן/ת גודל קבוע.

$$F = ma$$



3. משתי הטבלאות נוכל להסיק כי הכוח  $F$  הפועל על מסה  $m$  שווה \_\_\_\_\_ (לחילוק/למכפלת/לחיבור/לחיסור) המסה  $m$  \_\_\_\_ (ב/ל/מ) תאוצה  $a$ . או:

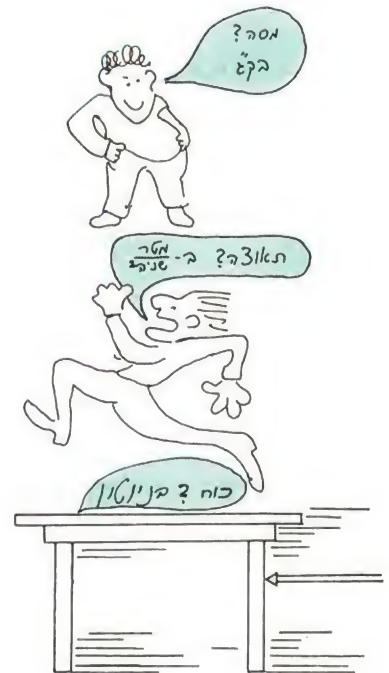
$$F = m a$$



הכוח  $F$  הפועל על מסה  $m$  גורם לה לתאוצה  $a$ , כך שמכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$  שווה לכוח  $F$ . עובדה זו מצוינת בחוק השני של ניוטון.

4. א. מסה מודדים בק"ג.  
 ב. תאוצה מודדים ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$   
 מכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$  נותנת  $2$  \_\_\_\_\_ (כוח/מהירות/דרך).  
 ג. את הכוח מודדים בניוטון.  
 מכאן ש:  $1 \text{ ק"ג} \cdot 1 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} = 1 \text{ ניוטון}$ .

היחידה  $1$  ניוטון היא בערך הכוח שבו מושך כדור הארץ מסה של  $0.1 \text{ ק"ג}$ .



#### נסכם:

- א. התאוצה  $a$  נמצאת ביחס ישר לכוח  $F$ , עבור אותה מסה.  
 ב. התאוצה  $a$  נמצאת ביחס הפוך למסה  $m$  עבור אותו כוח.  
 ג. החוק השני של ניוטון מציין כי מכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$  היא הכוח  $F$  הפועל עליה.  
 ד. יחידת הכוח ניוטון שווה ל-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \cdot \text{ק"ג}$ .  
 ה. כוח  $F$  קבוע הפועל על אותה מסה יגרום לה לנוע בתאוצה קבועה. תנועתה תהיה תנועה שוות תאוצה.







5.

נחזור:

א. מכפלת מסת הגוף  $m$  בתאוצה  $a$  נותנת את <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (הכוח/ המהירות/המרחק)  $F$ .

ב. במילים אחרות, התאוצה  $a$  נמצאת ביחס <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (ישר/הפוך) לכוח  $F$  וביחס <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (ישר/הפוך) למסה  $m$ .

ג. מסה מודדים ב <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (מ<sup>3</sup>/ק"ג / מטר / שנייה<sup>2</sup> / מטר / שנייה<sup>2</sup>).

ד. תאוצה מודדים ב <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (מטר / שנייה / מטר / שנייה<sup>2</sup>).

ה. כוח מודדים ב <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (מטר/ניוטון/ק"ג).

ו. ניוטון הוא: <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (ק"ג · מטר / שנייה<sup>2</sup> · ק"ג / מטר / שנייה<sup>2</sup>).

6. ניישם את החוק השני של ניוטון  $F = ma$  עבור כוחות שונים הפועלים בטבע, בטכנולוגיה, במעבדה ובחיי היום-יום. <sup>8</sup> הכוח השכיח ביותר על פני כדור הארץ הוא כוח \_\_\_\_\_ (המשיכה/ הדחייה/המגנט) שלו.

7.

הניסוי שלפניך - מכ' 35, שכבר ביצעת אותו בניסוי מכ' 31, ידגים כיצד משפיע כוח המשיכה על הגופים שנעים על פני כדור הארץ. הדק משקולת כבדה (0.2 ק"ג) לסרט נייר (ציור 14). את סרט הנייר העבר מתחת לנייר הפחם של הזמזם.

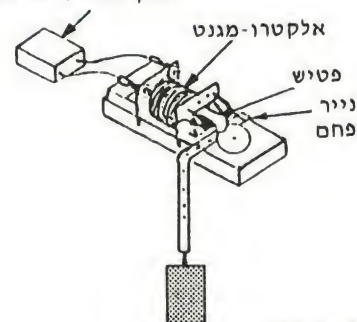
הפעל את הזמזם במתח חילופין של 6 וולט והפל את המשקולת. מרווח הזמן שבין נקודה אחת לשנייה <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (משתנה/קבוע). התבונן בסרט הנייר. המרחקים בין נקודות הנקישה <sup>10</sup> \_\_\_\_\_ (נשארים קבועים/הולכים וגדלים/הולכים וקטנים). מכאן שהמשקולת שגררה את סרט הנייר נעה ב <sup>11</sup> \_\_\_\_\_ (מהירות קבועה/תאוצה).

מדוד את מרחק המרווח  $y_1$  בין נקישה אחת לעוקבת לה, ואחר-כך את מרחק המרווח  $y_2$  שלאחריו, וכן הלאה (ראה ציור 15).



מכ' 35

ספק מתח (חילופין)

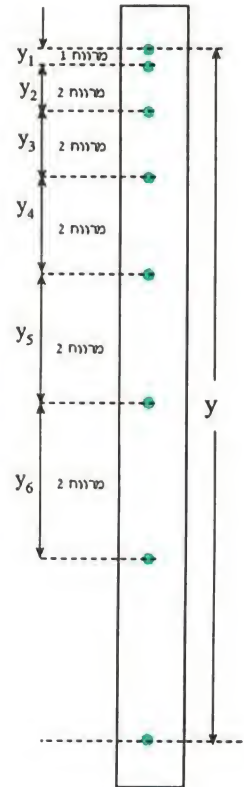


ציור 14:

כוח הכובד והתאוצה

מלא את הטבלה הבאה:

מרחק המרווח בס"מ בין נקודה לעוקבת לה	תוספת האורך בס"מ לכל מרווח
<sup>1</sup> $y_1 =$	<sup>2</sup> $y_2 - y_1 =$
<sup>3</sup> $y_2 =$	<sup>4</sup> $y_3 - y_4 =$
<sup>5</sup> $y_3 =$	<sup>6</sup> $y_4 - y_3 =$
<sup>7</sup> $y_4 =$	<sup>8</sup> $y_5 - y_4 =$
<sup>9</sup> $y_5 =$	<sup>10</sup> $y_6 - y_5 =$
<sup>11</sup> $y_6 =$	



האם תוספת האורך לכל מרווח היא קבועה? <sup>12</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא). מכאן, שהמשקולת נעה בתאוצה קבועה. כדי למצוא את התאוצה הקבועה נשתמש בנוסחה:

$$y = \frac{1}{2}at^2$$

$y$  הוא אורך סרט הנייר החל מהנקודה הראשונה (ראה ציור 15).  
 $a$  הוא ה- <sup>13</sup> \_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצה).  
 $t$  הוא הזמן שבו עוברת המשקולת את המרחק <sup>14</sup> \_\_\_\_\_ ( $y/x$ ).

**ציור 15:**  
 תנועה בתאוצה אל הקרקע  
 $y$  הוא מרחק התנועה החל מהנקודה הראשונה

$t$  הוא מספר המרווחים  
 כפול 0.02 שנייה

8. בחר מרחק  $y$  מתאים (ראה ציור 15) (שעבורו רואים בביור את הגדלת המהירות) ומדוד את מספר המרווחים. מספר המרווחים הוא <sup>15</sup> \_\_\_\_\_.  
 זמן מרווח אחד הוא <sup>16</sup> \_\_\_\_\_ (50/1/0.02) שניות, לכן הזמן הכולל הוא:

$$t = \text{_____} \cdot 0.02$$

$$t = \text{שניות} \text{_____}$$

$$y = \text{מטר} \text{_____} \quad \text{המרחק } y \text{ הוא:}$$

9. מהנוסחה  $y = \frac{1}{2}at^2$  נובע כי:

(1)  $a = \frac{2y}{t^2}$  (2)  $a = \frac{t^2}{2y}$  (3)  $a = \frac{y}{2t^2}$  (4)  $a = \frac{2t^2}{y}$  (1)

סמן את הנוסחה הנכונה וחשב:

(2)  $a = \frac{2}{\dots}$

$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  3

10. התאוצה שקיבלת היא תאוצת הכובד והיא מסומנת באופן מיוחד על ידי האות  $g$  (המסמלת את המילה Gravitation - משיכת כדור הארץ).

התוצאה שקיבלת צריכה להיות  $10 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  בערך. הערך המדויק יותר הוא  $9.8 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$ .

מצא את אחוז השגיאה של חישובך (ראה נוסחה בתחתית העמוד). \*



11. לפישוט חישובים נוהגים לרשום עבור  $g$  את הערך:  $10 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$ .

החוק השני של ניוטון מלמד כי הכוח שמפעיל כדור הארץ על הגוף חייב להיות שווה ל  $(mx/mv/ma)$  <sup>5</sup> שווה ל  $W$  שווה ל  $(m \cdot 1/m \cdot 10/m \cdot 5)$  <sup>6</sup> או - כוח המשיכה  $W$  שווה ל- $mg$ .

$$W = mg$$



\* אחוז השגיאה:

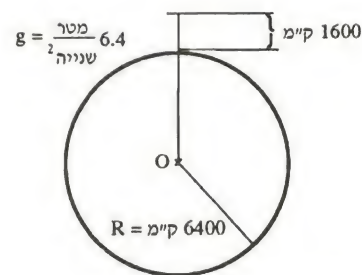
$$100 \cdot \frac{\text{תאוצה מצופה} - \text{תאוצה נמדדת}}{\text{תאוצה מצופה}} = \text{אחוז השגיאה}$$

$$100 \cdot \frac{9.8 - \text{תאוצה נמדדת}}{9.8} = \text{אחוז השגיאה}$$

12. ערכו של  $g$  או של \_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצת) הגופים הנופלים אינו קבוע בכל מקום על פני כדור הארץ. אולם השינויים מאזור אחד לשני הם קטנים ביותר.

ככל שמתרחקים מפני כדור הארץ, תאוצת הכובד  $g$  הולכת וקטנה. לדוגמה: במרחק 1600 ק"מ מעל פני כדור הארץ, תאוצת הכובד  $g$  היא רק  $6.4 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  (ציור 16). ככל שמתרחקים יותר, היא הולכת וקטנה.

כאשר שולחים אסטרונאוטים למסלול בגובה רב סביב כדור הארץ, הם נמצאים בתחום שבו תאוצת הכובד  $g$  \_\_\_\_\_ (גדולה/קטנה) יותר מאשר על פני כדור הארץ. כוח המשיכה הפועל עליהם, או לחילופין משקלם \_\_\_\_\_ (קטן/גדל). המסה שלהם  $m$  \_\_\_\_\_ (משתנה/אינה משתנה) בגובה רב, מאחר שלא חל שינוי במבנה גופם.



ציור 16:  
במרחק 1600 ק"מ מפני  
כדור הארץ ערכה של  
התאוצה  $g$  שווה  
ל-  $6.4 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$

#### נסכם:

- מסה  $m$  של גוף היא גודל שאינו משתנה.
- משקלו של גוף או כוח המשיכה הפועל עליו משתנה ביחס ישר לתאוצת הכובד  $g$ .
- תאוצת הכובד  $g$  הולכת וקטנה ככל שמתרחקים מפני כדור הארץ.



13. משקלו  $W'$  של גוף הנמצא בגובה 1600 ק"מ מעל פני כדור הארץ הוא 32 ניוטון. מהי מסתו ומה משקלו  $W$  על פני כדור הארץ?

פתרון:

נתון:

$$32 \text{ ניוטון} = W' = \text{משקל הגוף במרחק 1600 ק"מ}$$

$$m = ? \text{ מסת הגוף}$$

$$W = ? \text{ משקלו על פני כדור הארץ}$$





נסמן ב- $g'$  את תאוצת הכובד בגובה 1600 ק"מ מעל פני כדור הארץ:

$$1 \quad g' = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{ —————}$$

$$W' = mg$$

לכן:

$$m = \frac{W'}{g'}$$

כלומר:

$$2 \quad m = \frac{\text{ק"ג}}{6.4} \text{ —————}$$

משקלו של אותו גוף על פני כדור הארץ הוא:

$$W = mg$$

$$3 \quad W = \text{—————} \cdot 10$$

$$4 \quad W = \text{ניוטון} \text{ —————}$$

14. גם לגרמי השמים השונים יש כוח משיכה. לכן גם לגופים הנמצאים עליהם יש <sup>5</sup> (מהירות/מעתק/תאוצת) כובד. לירח יש למשל כוח משיכה הקטן בערך פי 6 מזה של כדור הארץ (ציור 17).

$$g \text{ על פני כדור הארץ הוא } \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{ —————} \quad 6$$

$$\text{הכובד על פני הירח) היא } \frac{10}{6} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad 7$$

$$g_{\text{ירח}} = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{ —————}$$

15. מסתו של אסטרונאוט שסייר בירח היא 70 ק"ג (ציור 18). מה משקלו על פני כדור הארץ ומה משקלו  $W'$  על הירח?

פתרון:

נתונים:

$$m = 70 \text{ ק"ג} \text{ מסת האסטרונאוט}$$

$$W = ? \text{ משקלו על פני כדור הארץ}$$

$$W' = ? \text{ משקלו על הירח}$$

$$W = mg$$

$$W = \text{—————}$$

$$9 \quad W' = \text{—————} \cdot g'_{\text{ירח}}$$

$$10 \quad W' = \text{—————}$$



ציור 17:

תאוצת הכובד על פני הירח היא 1/6 מערכו על פני כדור הארץ



ציור 18:

משקלו של אסטרונאוט בירח קטן פי 6 מאשר על פני כדור הארץ

16. על מזחלת שלג שמסתה 20 ק"ג פועל כוח אופקי של 40 ניוטון. מהי

תאוצת המזחלת?

פתרון:

נתונים:

$$m = 20 \text{ ק"ג} \quad \text{מסת המזחלת}$$

$$F = 40 \text{ ניוטון} \quad \text{הכוח הפועל על המזחלת}$$

---


$$a = ? \quad \text{תאוצת המזחלת}$$

על מזחלת השלג (ציור 19) בשעת תנועתה כמעט לא פועל כוח  
 1 (הכובד/חיכוך). לכן, הכוח של 40 ניוטון הוא הכוח  
 2 (האופקי/האנכי) היחיד הפועל על המזחלת.

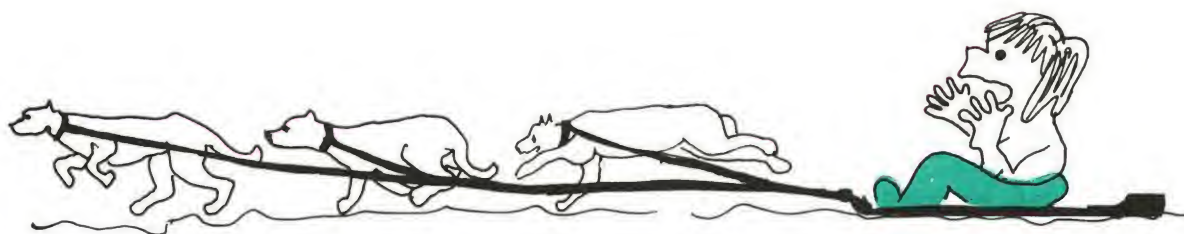
ואז:

$$F = ma$$

$$3 \quad a = \frac{F}{m}$$

$$4 \quad a = \frac{40}{20} =$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad 2$$



ציור 19:

החיכוך עם השלג הוא אפסי

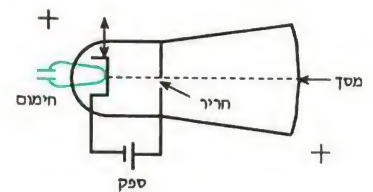
## 1. יישום החוק השני של ניוטון במדע ובטכנולוגיה

1. החוק השני של ניוטון תקף בכל סוגי הכוחות הקיימים. דוגמה לכך מהווה הכוח החשמלי.

במכשיר הטלוויזיה שהוזכר בסעיף 1.ב.4 קיים כוח חשמלי. כוח זה גורם לתאוצתם של האלקטרונים לפני שהם פוגעים במסך (ציור 20). האלקטרונים הם גופים בעלי מסה זעירה הטעונים במטען חשמלי.

על האלקטרונים המואצים פועל כוח חשמלי קבוע. לכן הם נעים \_\_\_\_\_ (במהירות/בתאוצה) קבועה.

התאוצה, לפי החוק השני של ניוטון, נמצאת ביחס \_\_\_\_\_ (ישר/ הפוך) למסה. מסת האלקטרונים \_\_\_\_\_ (זעירה/גדולה) מאוד לכן תאוצתם \_\_\_\_\_ (גדולה/קטנה) מאוד (בערך פי  $10^{14}$  יותר מאשר תאוצת הכובד g).



ציור 20:

מערכת ההאצה של האלקטרונים במכשיר הטלוויזיה

### נסכם:

תאוצת האלקטרונים במכשיר הטלוויזיה, הנוצרת על ידי כוח חשמלי, גדולה מאוד.



ציור 21:

הצנחה ממטוסים

2. אחת השיטות המקובלות להעברת ציוד ואספקה לאזורי מצוקה ולמקומות מרוחקים היא הצנחה ממטוסים (ציור 21).

אם יופל הציוד ממטוס בנפילה חופשית (ללא מצנח) הוא ינוע בתאוצה g ומהירותו תלך ו \_\_\_\_\_ (תקטן/תגדל) ביחס \_\_\_\_\_ (ישר/הפוך) לזמן שהיית הציוד באוויר.

לפי הנוחה:  $V = gt$ .

בהגיעו לאדמה, ייחבט הציוד בקרקע בגלל מהירותו הגדולה, וייהרס.

3. כדי למנוע את החבטה, מחברים את הגוף הנופל למצנח. המצנח עשוי רצועות, לרוב מבד סינטטי חזק (ציור 22). כאשר המצנח משתחרר מהחוטים שסגרו אותו, נוצר לחץ בתוך חופת המצנח והוא נפתח. שטחו במצב זה רחב מאוד (המצנח בו משתמשים צנחנים למשל הוא בעל שטח של כ-70 מ<sup>2</sup>!!!) ונוצרת התנגדות אוויר חזקה המקטינה את תאוצת הגוף הנופל.

המצנח של הצנחנים נפתח באופן אוטומטי לאחר שלוש שניות. לצנחנים בצניחה חופשית ניתן שיקול הדעת לגבי זמן פתיחת המצנח. לרוב הם צונחים בנפילה חופשית זמן רב יותר מאשר צנחנים רגילים.



ציור 22:

המצנח עשוי בד סינטטי חזק

4. כאשר ציוד הצניחה עובר את פתח המטוס, עוד בטרם פתיחתו של המצנח, הוא נע תחילה בנפילה חופשית. הכוח היחיד שפועל עליו הוא כוח המשיכה  $W$  (ציור 23).  
עם פתיחת המצנח מפעיל האוויר כוח התנגדות שהולך וגדל ככל שמהירות המצנח גדלה ולכן תאוצת המצנח הולכת \_\_\_\_\_ (וגדלה/וקטנה).



ציור 23:

לפני פתיחת המצנח פועל על הגוף כוח המשיכה  $W = mg$  והוא נע בתאוצה  $g$  כלפי מטה

5. בשלב מסוים של הצניחה מגיע ערך כוח התנגדות האוויר ל-75% ממשקלו  $W$  של הגוף הצונח (ציור 24).  
כוח התנגדות האוויר הוא לפיכך:

$$\left. \begin{array}{l} (1) \quad \frac{W}{2} \\ (2) \quad \frac{W}{4} \\ (3) \quad \frac{3W}{4} \\ (4) \quad \frac{g}{4} \end{array} \right\} 2$$

סמן את התשובה הנכונה.

6. על הגוף הנופל פועלים בשלב זה שני כוחות: האחד  $W$  בכיוון \_\_\_\_\_ (אנכי מטה/אנכי מעלה/אלכסוני), והשני בשיעור  $\frac{3W}{4}$  בכיוון \_\_\_\_\_ (אנכי מטה/אנכי מעלה/אלכסוני). את שני הכוחות אפשר להחליף בכוח אחד שייקרא הכוח המעשי או הכוח השקול.

הכוח המעשי הפועל על הגוף הצונח הוא:

$$\left. \begin{array}{l} (1) \quad F = \frac{3W}{4} - W \\ (2) \quad F = W - \frac{3W}{4} \\ (3) \quad F = W + \frac{3W}{4} \end{array} \right\} 5$$

סמן את התשובה הנכונה.

כיוונו של הכוח המעשי הוא \_\_\_\_\_ (אנכי מעלה/אנכי מטה/צפון/דרום) וגודלו  $F = \frac{1}{4}W$ .  
הכוח המעשי  $F = \frac{1}{4}W$  גורם לתאוצה. לפי החוק השני של ניוטון, גודלו של הכוח המעשי שווה למסה  $m$  כפול התאוצה  $a$ .

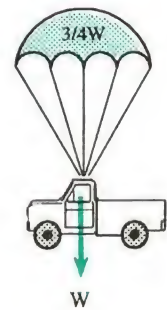
או:

$$\frac{1}{4}W = ma$$

$$a = \frac{1}{4} \frac{W}{m}$$

אבל:

$$W = m \cdot g$$



ציור 24:

כוח הכובד  $W$  פועל כלפי מטה, ו-  $\frac{3}{4}W$  כוח התנגדות האוויר פועל כלפי מעלה



לכן:

$$a = \frac{1}{4}g$$

$$1 \quad a = \frac{1}{4} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$$

או:

$$(5/10/2.5) \quad a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 2$$

## נסכם:



א. כוח מעשי (או שקול) הוא אחד המחליף שני כוחות או יותר, כך שהוא גורם לאותה תאוצה, כמו זו הנגרמת על ידי כל הכוחות יחדיו.

ב. כיוון התאוצה שנגרמת על ידי הכוח המעשי הוא ככיוון התאוצה שנגרמת על ידי פעולת כל הכוחות.

ג. הכוח המעשי הפועל על גוף שווה למסתו  $m$  כפול התאוצה  $a$ .

7. במציאות, בשעת צניחה, כוח התנגדות האוויר הולך וגדל בהדרגה ככל שמהירות הצנחן הולכת וגדלה. הכוח המעשי (השקול) הולך ו <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (גדל/קטן). התאוצה על כן הולכת ו <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (קטנה/גדלה), אולם בסופו של דבר, מגיע ערכה של התנגדות האוויר לערכו של כוח הכובד <sup>3</sup> \_\_\_\_\_  $(\frac{W}{4}/0/W)$ . <sup>4</sup> \_\_\_\_\_  $(W/0/\frac{W}{2}/2W)$  הכוח המעשי שפועל על הגוף הצונח הוא <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (קבועה/משתנה), לכן הגוף ימשיך לנוע במהירות <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (קבועה/משתנה), שהושגה עם תום התאוצה.

8.

לסיכום, השלם את המשפטים שלפניך:

א. ברגע יציאת צנחן ממטוס פועל עליו <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (כוח התנגדות האוויר/כוח המשיכה)  $W$  בלבד, ותאוצתו היא <sup>2</sup> \_\_\_\_\_  $(0/g/2)$ .

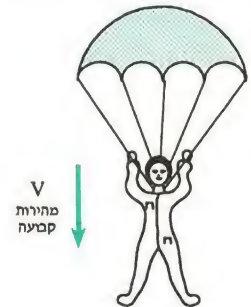
ב. מהירות הצנחן הולכת ו <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה). כתוצאה מכך נוצרת התנגדות אוויר שהולכת ו <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה).

ג. הכוח המעשי שפועל על צנחן בשעת תנועתו הוא כוח המשיכה  $W$  <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (פחות/ועוד) התנגדות האוויר.

ד. כתוצאה מהגדלת התנגדות האוויר, תאוצת הצנחן הולכת ו <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה).

ה. התאוצה מתאפסת כאשר כוח התנגדות האוויר <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (משתווה/לגדול מ/קטן מ) כוח המשיכה  $W$  (ציור 25).

ו. במצב המתואר בסעיף ה', מגיע הצנחן למהירות <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (התחלתית/סופית). במהירות זאת הוא נע עד הגיעו לקרקע.



ציור 25:

הצנחן נע במהירות קבועה.  
כוח התנגדות האוויר  $F$   
שווה לכוח המשיכה  
 $W = mg$   
הכוח המעשי הוא אפס.

**נסכם:**

כאשר הכוח המעשי מתאפס, התאוצה שווה לאפס.



9.

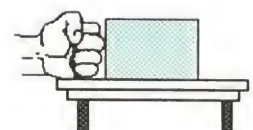
קח את גליל העץ שברשותך. הקנה לו תנועה אופקית על ידי דחיפה קלה ביד והרפה ממנו. גליל העץ קיבל מהירות ולאחר מרחק קצר <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (נעצר/הואץ) (ציור 26).

הגליל נע על השולחן בתאוצה. לכן פועל עליו כוח <sup>10</sup> \_\_\_\_\_ (נגדי ל/עם) כיוון התנועה. כוח זה הוא כוח <sup>11</sup> \_\_\_\_\_ (חיכוך/חשמלי) בין הגליל לבין משטח השולחן. כוח החיכוך פועל בגלל שהשולחן <sup>12</sup> \_\_\_\_\_ (חלק לחלוטין/מחוספס).

על ציור 26 סמן את כיוון התנועה של הגליל וכן את כוח החיכוך הפועל על הגליל.



מכ' 36



ציור 26:

כוח החיכוך פועל נגדית לכיוון תנועת הגוף

סימנו של כוח החיכוך הוא  $F$  חכ'.



10. נשלים:

כאשר מכונית נעה ימינה (ציור 27) פועל עליה כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  \_\_\_\_\_ (שמאלה/ימינה).

על רכבת הנעה מערבה (ציור 27) מפעילים הפסים כוח חיכוך  $F_{\text{חכ}}$  בכיוון \_\_\_\_\_ (צפון/מזרח/דרום).



ציור 27:

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  פועל בכיוון נגדי לתנועת המכונית ונגדית לתנועת הרכבת

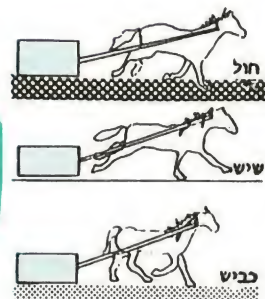
כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  פועל תמיד נגד כיוון התנועה.



11. תיבה נגרת: 1. על כביש; 2. על רצפת שיש; 3. על חול.

היכן לדעתך יפעל כוח חיכוך גדול יותר?

על \_\_\_\_\_<sup>3</sup> .  
כוח החיכוך הקטן ביותר יהיה על \_\_\_\_\_<sup>4</sup> .



ככל שהמשטח שעליו נגרר גוף חלק יותר, כך כוח החיכוך קטן יותר.



12. על קרונית משא שמסתה עם הקטר 5 טון פועל כוח המנוע של הקטר, שגודלו 6000 ניוטון.

כוח החיכוך הוא 2000 ניוטון. מהי תאוצת הקרונית?

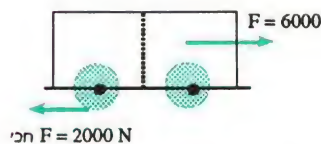
פתרון:

נתונים:

$$6000 \text{ ניוטון } F = \text{כוח המנוע}$$

$$2000 \text{ ניוטון } F_{\text{חכ}} = \text{כוח החיכוך}$$

$$a = ? \text{ תאוצת הקרונית}$$



ציור 28:

כוח המנוע  $F$  וכוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  פועלים על קרונית הרכבת בכיוונים נגדיים

בציור 28 מופיע סרטוט הכוחות שפועלים על הקרונית עם הקטר. הכוח המעשי שפועל על הקרונית הוא  $6000 \pm 2000$  ניוטון (מחק את הסימן המיותר).

כלומר, הכוח המעשי הוא \_\_\_\_\_<sup>5</sup>  $(6000/2000/4000)$  ניוטון. הכוח שווה למסת הקרונית  $m$  כפול \_\_\_\_\_<sup>6</sup> (מהירותה/תאוצתה/מרחק תנועתה)  $a$ .

$$4000 = 5000 \cdot a \text{ כלומר:}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{ _____}^7$$



13. אבן שמסתה 2.5 ק"ג נגרת על ידי 2 טרקטורי צעצוע. הטרקטורים מושכים אותה כך שבין שני כיווני כוח הגרירה יש זווית של  $90^\circ$ . סמן זווית זו בציור 29. הכוחות שמפעילים הטרקטורים הם 3 ניוטון בכיוון אנכי ו-4 ניוטון אופקית ימינה. מהי התאוצה של האבן ומהו כיוונה?

**פתרון:**

נמצא את הכוח השקול (המעשי) הפועל על האבן הנמצאת בנקודה A. לשם כך נצייר את וקטורי הכוחות הפועלים על האבן (ציור 30). בכיוון אנכי ( $90^\circ$ ) נצייר וקטור שגודלו <sup>1</sup>\_\_\_\_\_ (3 ניוטון/4 ניוטון). הווקטור השקול הוא <sup>2</sup>\_\_\_\_\_ (הצלע/האלכסון) היוצא מנקודה A אל הקדקוד <sup>3</sup>\_\_\_\_\_. (הסמוך/הנגדי) B. גודלו של הכוח המעשי F שווה לאורכו של האלכסון. את האורך נוכל למצוא בעזרת משפט פיתגורס:

$$F = \sqrt{3^2 + 4^2}$$

$$F = 5 \text{ ניוטון}$$

תאוצת האבן מתקבלת מתוך החוק השני של ניוטון:

$$a = \frac{F}{m}$$

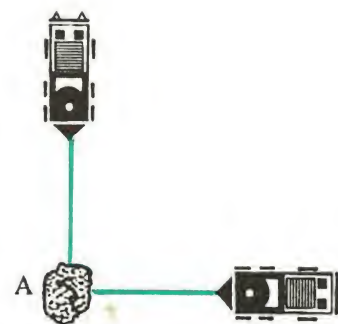
$$a = \frac{5}{2.5}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \quad \text{_____}^4$$

כיוונה של התאוצה הוא תמיד בכיוון הכוח השקול (המעשי). כלומר, התאוצה היא בכיוון <sup>5</sup>\_\_\_\_\_ (אלכסון/צלע) המלבן. אם האבן הייתה תחילה במנוחה, אזי היא הייתה נעה בתאוצה בכיוון <sup>4</sup>\_\_\_\_\_ (הצלע/האלכסון) של המלבן.

**נחשב:**

כיוון התאוצה הוא תמיד בכיוון הכוח השקול.



**ציור 29:**

אבן במסה של 2.5 ק"ג נגרת על ידי שני כוחות שהזווית ביניהם  $90^\circ$  (מבט מלמעלה)



**ציור 30:**

וקטורי כוח של 3 ניוטון ו-4 ניוטון מאונכים זה לזה. הווקטור השקול מכון לאורך האלכסון וגודלו 5 ניוטון.



14. למטוסים הממריאים מפני הקרקע דרושה מהירות מינימלית כדי להמריא. את מהירותם זו הם משיגים על ידי תנועה בתאוצה לאורך מסלול ההמראה.

מהו הכוח שמפעיל מטוס ג'מבו (ציור 31) אם הוא נע בתאוצה קבועה על מסלול שאורכו 400 מ'. הזנח את כמות החיכוך.

מהירות ההמראה שלו  $360 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ , ומסת המטוס היא 360 טון?

**פתרון:**

יש לחשב תחילה את תאוצת המטוס  $a$ . את הכוח שמפעיל מנוע הגימבו נקבל אם  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  (נחלק/נכפיל/נחבר/נחסר) את מסת המטוס  $m$   $\frac{\text{ב/מ}}{\text{מ/מ}}$  (מהירותו/תאוצתו/מרחק תנועה)  $a$ .

נתונים:

אורך מסלול הגימבו  $x = \text{מטר}$   $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$

מהירות התחלתית של המטוס  $V_0 = 0$

מהירות הסופית של המטוס  $V = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$

$m = 360$  טון  $F = \text{ק"ג}$

$F = ?$  כוח מנוע הגימבו

הקשר בין מרחק התנועה  $x$ , המהירות הסופית  $V$  והמהירות ההתחלתית  $V_0$  ניתן בנוסחה:

$$x = \frac{V^2 - V_0^2}{2a}$$

( $a$  - תאוצה)

נשתמש בנוסחה זו לחישוב התאוצה. המהירות ההתחלתית  $V_0$  שווה

ל  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$   $0$  /  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$   $400$  /  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$   $360$  (לכן נוסחת המרחק מצטמצמת ל-)

$$x = \frac{V^2}{2a}$$

$$400 = \frac{360^2}{2a}$$

נציב:

$$a = \frac{360^2}{2 \cdot 400}$$

נקבל:

$$a = \frac{\text{מטר}}{2 \text{ שנייה}}$$

התוצאה היא:

מכאן, שהכוח  $F$  שמפעיל מנוע הגימבו על המטוס הוא:

$$F = \text{ } \cdot a$$

$$F = \text{ } \cdot 162$$

$$F = \text{ } \text{ניוטון}$$



**ציור 31:**

כדי שמטוס יוכל להמריא דרושה לו מהירות המראה מזערית על פני הקרקע

15. מהירות ההמראה 360  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  של הג'מבו היא קבועה (ציור 32).  
 אורך המסלול הוא  $\frac{360}{400}$  (מטר/מטר), משום כך היה  
 על המטוס לנוע בתאוצה של  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$ .  
 לפי הנוסחה  $V^2 = 2ax$  רואים שאם המסלול היה ארוך יותר, הרי  
 שהמטוס היה יכול לפתח תאוצה  $a$  (גדולה/קטנה) יותר.  
 במקרה שלנו קיים יחס הפוך בין התאוצה  $a$  לאורך המסלול  $x$ .  
 אם יש הגבלה על אורך המסלול  $x$ , על המטוס לנוע בתאוצה גדולה  
 יותר. במצב זה מנוע המטוס מתאמץ יותר או לחילופין מפעיל כוח  
 (קטן/גדול) יותר מאשר במסלול ארוך יותר.



## ציור 32:

מסלול המראה קטן, תאוצה  
 גדולה וכוח מנוע גדול.  
 מסלול המראה גדול, תאוצה  
 קטנה וכוח מנוע קטן, עבור  
 אותו מטוס.



## נסכם:

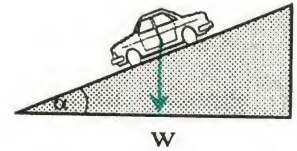
החוק השני של ניוטון:

- א. התאוצה הנגרמת על ידי שני כוחות ויותר היא בכיוון הכוח  
 השקול (המעשי).  
 ב. הכוח המעשי  $F$  שווה למכפלת המסה  $m$  בתאוצה  $a$ .

## 1.1 מישור משופע חלק

1. למדנו שכאשר מופעל על גוף כוח מעשי **קבוע**, הוא נע בתאוצה **קבועה**. ודאי זכורה לך מכונית הטרנטה שליוותה אותנו במשך הסעיפים הראשונים של פרק זה.

אותה מכונית, הועמדה בקצה העליון של כביש חלק משופע. המכונית החלה לנוע על ידי שחרור מעצור היד (ציור 33). באיזה סוג של תנועה תנוע המכונית?



ציור 33:

כוח הכובד  $W$  גורם למכונית לנוע בתאוצה קבועה לתחתית המדרון

1. במהירות קבועה;

2. בתאוצה משתנה;

3. בתאוצה;

4. בתאוצה קבועה.

סמן את התשובה הנראית לך נכונה.

אם סימנת מהירות קבועה, הרי ההנחה היא ששקול הכוחות שפועל על המכונית <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (שווה ל/שונה מ) אפס.

אם סימנת תנועה בתאוצה קבועה, הרי שקול הכוחות (הכוח המעשי) היה קבוע <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (שווה ל/שונה מ) אפס, כיוונו (ככיוון/מנוגד לכיוון) התנועה, כלומר <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (במעלה/במורד) הכביש המשופע.

2. נתבונן במכונית שלנו הנעה על המישור המשופע בזווית נטייה  $\alpha$ . על המכונית פועל כוח הכובד <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ ( $W/N$ ), כלומר <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (משקל/מסת) המכונית.

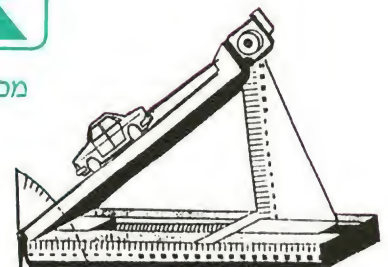
האם כתוצאה מכך תנוע המכונית בתאוצה  $g$ ?

אם התשובה היא חיובית, פירוש הדבר שעבור כל זווית תהיה למכונית תאוצה <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/שונה)  $g$ . הניסוי שלפניך יוכיח שדבר זה בלתי אפשרי.

3. קח את מכונית הצעצוע שלפניך (ניסוי מכי 37). העמד אותה בקצה העליון של לוח הסינוס, הדק אותה לסרט נייר, את סרט הנייר העבר מתחת לנייר הפחם של הזמזם. הטה את לוח הסינוס לזווית של  $30^\circ$  (ציור 34), הפעל את הזמזם במתח חילופין של 6 וולט, הנח למכונית להחליק. המכונית נעה <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (במהירות קבועה/בתאוצה) אל תחתית המדרון. נוכל לנתח את תנועת המכונית בעזרת סרט הנייר שקיבלנו.



מכי 37



ציור 34:

תאוצה במישור משופע חלק



התבונן בסרט הנייר. המרחקים בין נקודות הנקישת <sup>1</sup> (נשאים קבועים/הולכים וגדלים/הולכים וקטנים). מרווח הזמן שבין נקודה אחת לשנייה הוא קבוע ושווה ל- <sup>2</sup> (50/1/0.02) שניות.

שניות =  <sup>3</sup>  $t = 10 \times$  זמן של 10 מרווחים.

נבצע אותה פעולה עבור זוויות הטיה שונות ( $75^\circ, 60^\circ, 45^\circ$ ). נמדוד בכל פעם על הסרט את המרחק  $y$ , עבור 10 מרווחים, החל מהנקודה הראשונה (ראה ציור 35).

המרחק  $y$  עבור 10 מרווחים החל מהנקודה הראשונה שעושה המכונית בכל פעם <sup>4</sup> (שווה/שונה). הקשר בין הזמן  $t$  והתאוצה  $a$  למרחק  $y$  הוא  $y = \frac{1}{2}at^2$ .

$$a = \frac{2y}{t^2}$$

$$t = 10 \cdot 0.02 = 0.2 \text{ שניות}$$

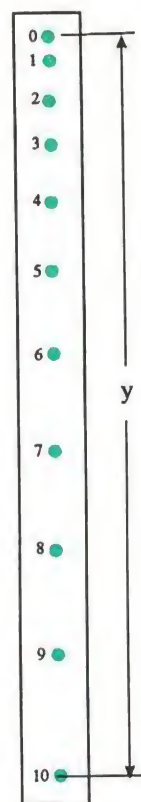
$$a = \frac{2y}{0.2} = \frac{y}{0.1}$$

מלא את הטבלה הבאה:

זווית $\alpha$	$y$ ס"מ	$y$ מטר	$a = \frac{y}{0.1}$ מטר/שנייה <sup>2</sup>
$30^\circ$	<sup>1</sup>	<sup>2</sup>	<sup>3</sup>
$45^\circ$	<sup>4</sup>	<sup>5</sup>	<sup>6</sup>
$60^\circ$	<sup>7</sup>	<sup>8</sup>	<sup>9</sup>
$75^\circ$	<sup>10</sup>	<sup>11</sup>	<sup>12</sup>

מתוך התוצאות שבטבלה ניתן להסיק שככל שזווית הנטייה  $\alpha$  של המדרון גדולה יותר, כך תנוע המכונית בתאוצה <sup>13</sup> (גדולה/קטנה) יותר.

במדרון חלק, הגדלת הזווית  $\alpha$  מגדילה את התאוצה.



ציור 35:

$y$  הוא המרחק עבור 10 מרווחים

4. כיצד תלויה התאוצה  $a$  של גוף הנע במדרון חלק בזווית המדרון  $\alpha$ ? כדי לענות על השאלה הזאת עלינו לנתח את הכוחות הפועלים על הגוף ולמצוא את הכוח המעשי (השקול) הפועל עליו.

החוק השלישי של ניוטון, חוק הפעולה והתגובה, קובע כי: כאשר גוף גורם לכוח עקה על משטח, המשטח מפעיל בתגובה על הגוף, כוח שווה לכוח העקה ובכיוון נגדי. כוח נגדי זה נקרא בשם נורמל ומסומן באות  $N$ .

על הגוף פועלים אם כן שני כוחות: האחד  $W$  - כוח משיכת כדור הארץ והשני כוח התגובה  $N$  שמפעיל המשטח בכיוון <sup>1</sup> (מאונך מקביל) למדרון.

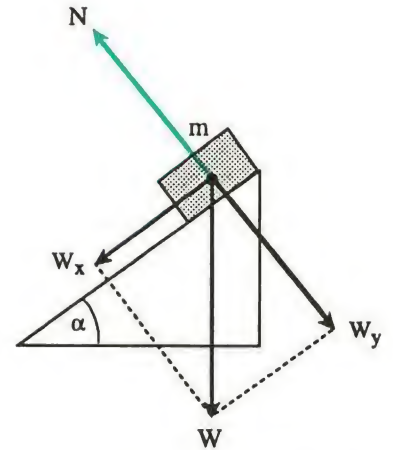
נזכור כי סוג תנועתו של הגוף הנע במורד מדרון חלק הוא <sup>2</sup> (בתאוצה/בתאוצה/במהירות קבועה).

כיוון התאוצה הוא בכיוון <sup>3</sup> (מאונך/מקביל) למדרון. לפי החוק השני של ניוטון כיוון התאוצה הוא בכיוון הכוח המעשי (השקול) הפועל על הגוף. לכן, הכוח שגורם לתאוצה <sup>4</sup> (מאונך/מקביל) למדרון.

כוח זה הוא רכיב של כוח המשיכה  $W$  בכיוון מקביל למדרון. מוצאים אותו על ידי פירוק כוח המשיכה  $W$  לרכיבים.

רכיב אחד  $W_y$  בכיוון מאונך למדרון והשני  $W_x$  מקביל לו (ציור 36). הרכיב <sup>5</sup>  $(W_x/W_y)$  הוא הכוח שמעניק לגוף תאוצה קבועה במורד המדרון.

הרכיב <sup>6</sup>  $(W_x/W_y)$  הוא כוח העקה ולכן הוא מתאזן על ידי כוח התגובה של המדרון <sup>7</sup>  $(W_x/W/N)$  לפי החוק (השני) השלישי של ניוטון.



ציור 36:

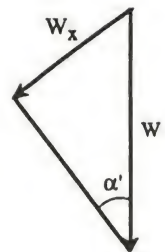
כוח המשיכה  $W$  מופרד לרכיבים.  $W_y$  מאונך למדרון ו- $W_x$  מקביל לו.

5. נבטא את  $W_x$  באמצעות הזווית  $\alpha$ . לשם כך נסרטט את המשולש <sup>8</sup> (ישר/קהה/חד) הזווית המתקבל מהצלעות  $W_x$  ו- $W$  (ציור 37).

<sup>9</sup>  $W$  הוא (ניצב/יתר) במשולש זה.

<sup>10</sup>  $W_x$  הוא (ניצב/יתר) במשולש זה.

הזווית  $\alpha$  שווה בגודלה לזווית ההטיה של המדרון  $\alpha$ . הוכחה לכך תוכל לראות בנספח (עמוד 145).



ציור 37:

משולש ישר זווית הבנוי מ- $W$  כיתר ו- $W_x$  ניצב

המתימטיקה מלמדת כי:

$$\frac{W_x}{W} = \sin \alpha \quad (\text{סינוס } \alpha)$$

ראה הסבר בתחתית הדף.\*

מכאן, שהכוח המעשי (השקול)  $W_x$  הגורם לגוף לנוע בתאוצה על מדרון חלק שווה ל-  $(W \sin \alpha)$   $\frac{W}{\sin \alpha}$ . מתוך החוק השני של ניוטון נובע:

$$W \sin \alpha = ma$$

אבל  $W = mg$ , כלומר מכפלת מסת הגוף המחליק ב-  $g$ .

לכן נקבל:

$$mg \sin \alpha = ma$$

נצמצם ב-  $m$  ונקבל:

$$a = g \sin \alpha$$

**נסכם:**

תאוצה של גוף הנע במורד מדרון חלק בעל זווית  $\alpha$  היא:  $g \sin \alpha$



6. רשום בטבלה שלפניך את התאוצה במדרון חלק המתאימה לזוויות

הנתונות. השתמש ב-  $g = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} 10$ .



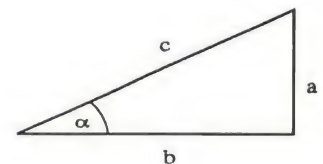
	$\alpha$	$a = g \sin \alpha$ (מטר / שנייה <sup>2</sup> )
1	30°	
	37°	6
2	45°	
3	53°	
4	60°	

\*  $\sin \alpha$  הוא היחס שבין הניצב  $a$  שמול הזווית  $\alpha$  ליתר  $c$ .

$$\sin \alpha = \frac{a}{c}$$

לכל זווית  $\alpha$  יש סינוס אחר. את הערכים השונים של  $\sin \alpha$  נקבל על ידי הקשה במחשבון של מספר מעלות ואחר כך בהקשה על מקש ה- $\sin$ . למשל: הקש 30 (מעלות) ואחר כך  $\sin$ . תקבל:

$$\sin 30^\circ = 0.5$$



7. מהירות ההתנעה של מכונית הטרנטה שלנו היא  $2.5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . את המהירות הזאת השיגה המכונית לאחר 10 שניות של תנועה בתאוצה קבועה  $a$  במדרון חלק. מהי תאוצת המכונית ומהי זווית המדרון?

פתרון:

נתונים:

$$V_0 = 0 \text{ המהירות ההתחלתית של המכונית}$$

$$V = \left( \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \right) 2.5 \text{ המהירות הסופית של המכונית בתנועתה במדרון}$$

$$t = 10 \text{ שניות זמן התנועה במדרון}$$

$$a = ? \text{ תאוצת המכונית}$$

$$\alpha = ? \text{ זווית המדרון}$$

$$V = at + V_0$$

הקשר בין המהירות הסופית בתנועה בתאוצה קבועה  $a$  ובין הזמן  $t$ ;  $V = at$  (כאשר המהירות ההתחלתית היא אפס).

$$a = \frac{V}{t} \quad \text{מכאן:}$$

$$a = \frac{\boxed{\phantom{0.25}}}{\boxed{\phantom{10}}} \quad \text{או:}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} 0.25$$

$$a = g \sin \alpha \quad \text{ראינו ש:}$$

$$0.25 = \frac{3}{\phantom{0.25}} \cdot \sin \alpha \quad \text{לכן:}$$

$$\sin \alpha = 0.025$$

בעזרת המחשבון המדעי שברשותך מצא את זווית המדרון  $\alpha$ . היעזר בהדרכתו של המורה.

$$\alpha = \frac{4}{\phantom{0.25}}^\circ$$

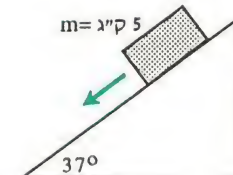






8. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלות פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש.מכ' 1.ג כדי להשוות את פתרון עם הפתרון הנכון.

נתון מדרון חלק שזווית נטייתו  $37^\circ$ . על המדרון מונחת מסה 5 ק"ג  $m$  המחליקה כלפי מטה (ציור 38).



א. סרטט בקנה מידה (1 ס"מ = 20 ניוטון) את כוח המשיכה  $W$  הפועל על המסה.

ב. פרק את כוח המשיכה  $W$  לרכיבים, האחד בכיוון מורד המדרון והשני בכיוון מאונך לו.

ג. סרטט את תגובת המישור  $N$ .

ד. מדוד בעזרת סרגל, את רכיבי הכוח  $W_x$  בכיוון מורד המדרון ו- $W_y$  בכיוון מאונך לו.

$$W_x = \boxed{\phantom{000}}^2 \quad W_y = \boxed{\phantom{000}}^1 \quad \text{ניוטון}$$

ה. חשב את הכוח המעשי (השקול) הפועל על המסה ואת תאוצתה.

$$F = \boxed{\phantom{000}}^3 \quad \text{ניוטון} \quad \text{מעשי (מדוד)}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \boxed{\phantom{000}}^4 \quad \text{(מדדה)}$$

ו. בסעיף 5.ו.1 הגענו למסקנה שתאוצה של גוף הנע במורד מדרון חלק בעל זווית  $\alpha$  היא:  $a = g \cdot \sin \alpha$

השווה את התאוצה שקיבלת בסעיף ה' לתאוצה המתקבלת בעזרת הנוסחה.

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \boxed{\phantom{000}}^5 \quad \text{(מדדה)}$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \boxed{\phantom{000}}^6 \quad \text{(חישוב)}$$

מלאת את המשימה? פנה למורה לקבלת שקף בקרה!

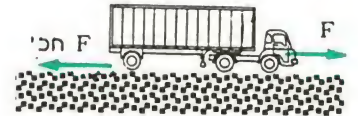


ש. מכ' 1.ג

ציור 38:  
מסה של 5 ק"ג  
מחליקה במורד מדרון  
שזווית נטייתו  $37^\circ$

## 1.1 כוח החיכוך

1. משאית שמסתה 1 טון נעה על כביש מחוספס. מנוע המשאית מפעיל עליה כוח **קבוע**  $F$  (ציור 39).



ציור 39:

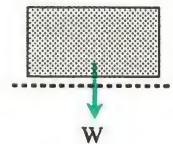
על משאית הנעה על כביש מחוספס פועלים שני כוחות. כוח המנוע  $F$  ונגדי לו כוח החיכוך  $F$  חכ'.

המשאית נעה בתאוצה  $a$ . בכיוון **אופקי** פועלים על המשאית <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (שני/שלושה) כוחות: כוח המנוע  $F$  וכנגדו כוח <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (המשיכה/החיכוך)  $F$  חכ'. מעמיסים את המשאית כך שמסתה היא כעת 2 טון. המשאית ממשיכה לנוע על אותו כביש וכוח המנוע  $F$  לא השתנה. המשאית תנוע עתה בתאוצה <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה) יותר מאשר ללא עומס, כי כוח החיכוך **גדל**. כללית נאמר, שככל שמסת המשאית גדלה כך <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (יגדל/יקטן) כוח החיכוך.

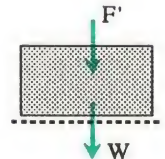
כאשר מסת גוף גדלה, <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (יגדל/יקטן/לא ישתנה) כוח המשיכה של כדור הארץ הפועל עליו.

כוח המשיכה או משקל הגוף יוצר כוח הפועל על המשטח עליו הוא מונח. כוח זה נקרא **עקה**. העקה גדלה כאשר כוח חיצוני פועל על המסה בכיוון <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (מעלה/מטה). העקה <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (קטנה/גדלה) כאשר הכוח החיצוני פועל כלפי מעלה (ציור 40). אם לא פועל כוח חיצוני על המסה, העקה שווה לכוח <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (המשיכה/החיכוך)  $W$ .

כוח העקה הוא כוח מאונך שמפעיל גוף על המשטח שעליו הוא מונח. כוח החיכוך גדל ככל שהעקה גדולה יותר.



כוח המשיכה של כדור הארץ יוצר עקה על המשטח.

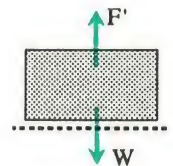


כוח חיצוני  $F'$  הפועל כלפי מטה מגדיל את העקה.

2. כאשר גוף גורם לכוח עקה על משטח, המשטח מפעיל בתגובה את אותו כוח על הגוף בכיוון **נגדי**, וזאת לפי החוק השלישי של ניוטון (ראה סעיף 4.1.1).

כוח נורמל הוא כוח שהמשטח מפעיל בתגובה על הגוף ובכיוון מאונך למשטח.

כוח הנורמל  $N$  (שווה אם כן בגודלו לעקה, וזאת לפי החוק השלישי של ניוטון). כוח החיכוך  $F$  חכ' הולך וגדל ככל שכוח הנורמל  $N$  גדל.



כוח חיצוני  $F'$  הפועל כלפי מעלה מקטין את העקה.

ציור 40

### נסכם:

- עקה הוא כוח שמפעיל גוף במאונך למשטח עליו הוא מונח.
- נורמל  $N$  הוא כוח שהמשטח מפעיל על גוף המונח עליו, במאונך למשטח.
- כוח החיכוך  $F$  חכ' גדל ככל שכוח הנורמל  $N$  גדל.



### 3. נתייחס למצב שבו אותה משאית המוזכרת בתחילת סעיף 1.2.1.

עוברת מכביש חלק לכביש מחוספס ומשם לחול (ציור 41).

באיזה משטח יהיה כוח החיכוך הגדול ביותר?

במשטח (החול/המחוספס/החלק) (מחק את המיותר).

ניסויים מראים, כי כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  תלוי בשני גורמים בלבד:

א. בכוח הנורמל  $N$ .

ב. בסוג המשטחים המתחככים.



ציור 41:

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  תלוי בסוג המשטחים המתחככים

במקרה שלנו המשטחים הם צמיגי המשאית והכביש.

ניסויים נוספים מראים שכוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  נמצא ביחס ישר לכוח הנורמל  $N$ , כך ש:

$$F_{\text{חכ}} = \mu N$$

$\mu$  (מיו) נקרא מקדם החיכוך הקינטי (התנועתי), או בקיצור מקדם החיכוך, והוא תלוי אך ורק בסוג המשטחים המתחככים. מקדם החיכוך הוא היחס שבין כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  לכוח הנורמל.

$$\mu = \frac{F_{\text{חכ}}}{N}$$

ל-  $\mu$  \_\_\_\_\_ (יש/אין) יחידות פיסיקליות כי הוא מתאר יחס שבין שני כוחות: את היחס שבין כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  לבין כוח הנורמל  $N$ .

#### נסכם:

א. כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  נמצא ביחס ישר לכוח הנורמל  $N$ .

$$F_{\text{חכ}} = \mu N$$

ב. מקדם החיכוך  $\mu$ , תלוי רק במשטחים המתחככים והוא חסר יחידות פיסיקליות.



4. כוח של 20 ניוטון מופעל על מסה של 4 ק"ג בכיוון אופקי (ציור 42).  
מהי תאוצת הגוף אם מקדם החיכוך  $\mu = \frac{1}{4}$ ?

פתרון:

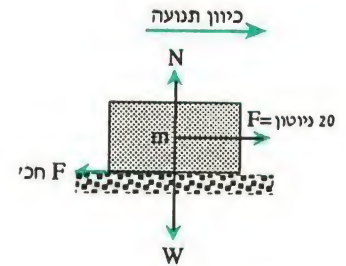
נתונים:

20 ניוטון  $F$  כוח חיצוני אופקי הפועל על המסה

מסת הגוף  $m =$  \_\_\_\_\_

מקדם החיכוך  $\mu = \frac{1}{4}$

$a = ?$  תאוצת המסה



ציור 42:

הכוחות הפועלים על גוף בתנועה על מישור אופקי לא חלק

בציור 42 מופיעים כל הכוחות הפועלים על המסה  $m$ .

א. נחשב את כוח החיכוך.

ראינו כי  $F_f = \mu N$

בכיוון אנכי אין תנועה, לכן:

$$N - W = 0$$

$$N = W \quad \text{לכן}$$

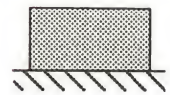
$$F_f = \mu W \quad \text{ומכאן:}$$

$$W = mg$$

$$F_f = \mu mg \quad \text{מכאן:}$$

$$F_f = \frac{1}{4} \cdot \text{_____} \cdot \text{_____} \quad (2)$$

$$F_f = 10 \text{ ניוטון}$$



ציור 42א'

ב. צייר בקנה מידה על המסה, ציור 42 א', את הכוחות האופקיים הפועלים עליה.

ג. הכוחות  $F$  ו- $F_f$  (מכוונים באותו כיוון/ניצבים/נגדיים) \_\_\_\_\_

ולכן הכוח המעשי הוא \_\_\_\_\_ (הסכום/ההפרש) בין הכוחות

$$(F + F_f / F - F_f) \quad (5)$$

$$F - \text{_____} = m \cdot \text{_____} \quad \text{ואז:} \quad (6)$$

$$20 - \text{_____} = 4a \quad \text{או:} \quad (7)$$

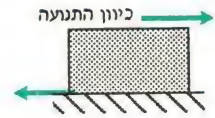
$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} 2.5$$





5.

קח את התיבה והנח אותה על השולחן (ציור 43). דחוף בקלות את התיבה בידך בכיוון מקביל למשטח השולחן והרפה ממנה. כתוצאה מכך תחל התיבה לנוע. התיבה תיעצר לאחר זמן מה. לאחר שהרפית ממנה, תנוע התיבה ב \_\_\_\_\_ (תאוצה/תאווטה/מהירות קבועה). התאווטה נגרמה כתוצאה מכוח \_\_\_\_\_<sup>2</sup> (המשיכה/החיכוך) שפעל על התיבה \_\_\_\_\_<sup>3</sup> (בכיוון ה/כיוון נגדי ל) תנועה. כוח הדחיפה נפסק כאשר התיבה נעה בתאווטה ולכן כוח החיכוך הוא הכוח \_\_\_\_\_<sup>4</sup> (השני/היחיד) בכיוון האופקי הפועל על התיבה בזמן תנועתה.



ציור 43:

כוח החיכוך הוא היחיד שפועל על התיבה בכיוון אופקי. כיוונו נגדי לתנועה.

6.

נחשב את גודל התאווטה של התיבה בהנחה שמסתה 0.5 ק"ג. היא נעה על מישור השולחן כך שמקדם החיכוך  $\mu$  המתאים למשטחים המתחככים הוא 0.2.

פתרון:

נתונים:

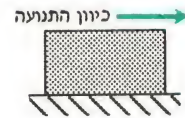
$$m = 0.5 \text{ ק"ג} \quad \text{מסת התיבה}$$

$$\mu = 0.2 \quad \text{מקדם החיכוך}$$

$$a = ? \quad \text{תאוצת התיבה}$$

על ציור 43 א' סרטט את כל הכוחות הפועלים על התיבה. אם הנך מתקשה, היעזר בציור 42.

הכוח היחיד שפועל על התיבה בכיוון אופקי הוא כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$ . כוח הדחיפה של היד \_\_\_\_\_<sup>5</sup> (נפסק/ממשיך לפעול) בזמן שהתיבה נעה בתאווטה.



ציור 43 א'

$$F_{\text{חכ}} = \mu \text{ _____}^6$$

בכיוון אנכי פועלים על התיבה \_\_\_\_\_<sup>7</sup> (שני/שלושה) כוחות שהשקול שלהם שווה לאפס. הכוחות הם כוח הנורמל \_\_\_\_\_<sup>8</sup> (N/W) וכוח \_\_\_\_\_<sup>9</sup> (המשיכה/החיכוך) W.

$$N - W = \text{_____}^{10}$$

$$N = W \quad \text{מכאן}$$

$$N = mg \quad \text{או}$$

$$N = 0.5 \cdot \text{_____}^{11} = 5 \text{ ניוטון}$$

מכאן, שכוח החיכוך שווה ל:

$$F_{\text{חכ}} = \mu N = \mu mg$$

$$F_{\text{חכ}} = 0.2 \cdot \text{_____} \quad (1)$$

$$F_{\text{חכ}} = 1 \text{ ניוטון}$$

$F_{\text{חכ}}$  הוא הכוח היחיד הפועל על המסה לכן לפי החוק השני של ניוטון:

$$F_{\text{חכ}} = m a$$

$$1 = 0.5 a$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{_____} \quad (2)$$

7. באופן כללי, ערך התאוצה של גוף, הנגרמת רק כתוצאה מפעולתו של כוח יחיד - כוח החיכוך שמפעיל משטח בעל מקדם חיכוך  $\mu$ , יתקבל באופן הבא:

$$\mu mg = ma$$

נצמצם ב- $m$  ונקבל:

$$a = \mu g \quad (1) \quad a = \mu \quad (2) \quad a = \frac{\mu}{g} \quad (3) \quad a = \frac{g}{\mu} \quad (4)$$

סמן את הפתרון הנכון.

האם הביטוי  $a = \mu g$  מתאים לתוצאה שקיבלת בתרגיל שבסעיף 6? נבדוק:

$$a = \mu g$$

$$a = \text{_____} \cdot \text{_____} \quad (1)$$

$$a = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{_____} \quad (2)$$



נסכם:

כאשר גוף נע על משטח ומקדם החיכוך בינו לבין המשטח הוא  $\mu$ , התאוצה שלו תהיה שווה ל- $\mu g$ , אם כאשר כוח החיכוך הוא הכוח היחיד הפועל עליו.



8. נוכל להדגים את הדין על כוח החיכוך בעזרת ניסוי של תנועת גליל על לוח סינוס (ניסוי מ' 38).



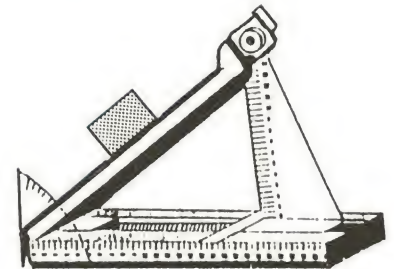
מ' 38

הטה את לוח הסינוס לזווית של  $\alpha = 60^\circ$ . הנח עליו את הגליל בצדו המוחספס (ציור 44). תן לגליל לנוע לכיוון תחתית המדרון. מה הם הכוחות הפועלים על הגליל בשעת תנועתו? <sup>1</sup>

א. על הגליל פועל כוח המשיכה  $W$  בכיוון \_\_\_\_\_ (אנכי/אנכי מטה/תחתית המדרון).

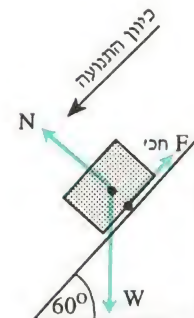
ב. פועל עליו כוח החיכוך  $F$  ח' שכיוונו <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (עם/נגד) כיוון התנועה. כלומר <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (אנכי מעלה/אנכי מטה/מקביל למדרון כלפי מעלה).

ג. משטח המדרון מפעיל על גליל כוח <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (כובד/נורמל)  $N$  ה <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (מקביל/מאונך) למשטח לוח הסינוס (ציור 45).



ציור 44

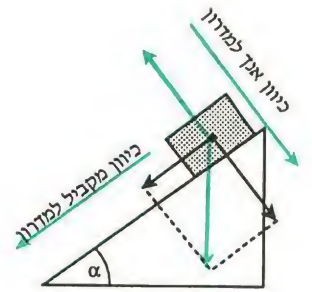
לוח הסינוס נוטה בזווית  $60^\circ$ , עליו גליל המונח בצדו המוחספס על קצה המדרון



ציור 45

שלושה כוחות פועלים במדרון:  $W$  כוח המשיכה כלפי הקרקע  $N$  כוח הנורמל מאונך לגליל  $F$  ח' כוח חיכוך המעוגד לכיוון התנועה





ציור 46:

כוח המשיכה  $W$  מופרד לשני רכיבים:  
מקביל למדרון  $W_x$   
ומאונך לו  $W_y$   
כוח הנורמל  $N$  שווה ונגדי ל- $W_y$   
 $N - W_y = 0$

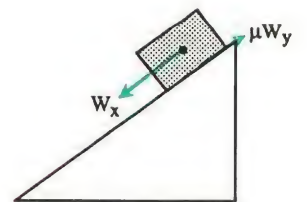
9. מהו הקשר בין כוח הנורמל  $N$  וכוח המשיכה  $W$ ?  
כוח העקה שמפעיל הגליל מאונך למשטח <sup>1</sup> (המדרון/השולחן). כוח זה שווה בערכו לכוח הנורמל  $N$ .  
את העקה נמצא על ידי פירוק כוח הכובד  $W$  לרכיבים (ציור 46).  
הרכיב האחד  $W_x$  מכיוון ב <sup>2</sup> (מאונך/מקביל) למדרון.  
הרכיב השני  $W_y$  מכיוון ב <sup>3</sup> (מאונך/מקביל) למדרון.  
בכיוון מקביל למדרון הגליל נע ב <sup>4</sup> (מהירות קבועה/תאוצה). לכן הכוח המעשי (השקול) הפועל על הגליל הוא בכיוון מקביל למדרון.

אם כן שקול הכוחות הפועלים על הגליל בכיוון אנכי למדרון הוא <sup>5</sup> (אפס/  $N + W_y$  /  $N / W_y$  /  $N / W_y$ ), כלומר:  $N - W_y = 0$   
מכאן ש-  $W_y$  שווה בערכו ל <sup>6</sup> ( $N / W$  /  $F$  /  $N$ ).  
בסעיף 3.1.1 ראינו כי:  $F = \mu N$  מכאן:

$$F = \mu W_y$$

10. הכוח שגורם לגליל לנוע אל תחתית המדרון הוא  $W_x$ . נגדו פועל כוח <sup>7</sup> (הנורמל  $N$  / המשיכה  $W$  / החיכוך  $F$  / העקה). הכוח השקול (המעשי) הפועל בכיוון מורד המדרון הוא: <sup>8</sup>  $(W_x - F)$  /  $(W_x + F)$ .  
במקום  $F$  מכאן אפשר לרשום <sup>9</sup>  $(\mu W_y / \mu W)$  ואז הכוח המעשי הוא:  $W_x - \mu W_y$ .  
במצב שבו  $W_x > \mu W_y$  הגליל נע ב <sup>10</sup> (מהירות קבועה/תאוצה קבועה/תאוצה משתנה) ואפשר לרשום:  $W_x - \mu W_y = ma$  (ציור 47).

<sup>11</sup>  $m$  (משקל/מסת) הגליל.  
<sup>12</sup>  $a$  (מהירות/תאוצה) הגליל.



ציור 47:

הפרש הכוחות האופקיים  
 $W_x - \mu W_y$  קובע את התאוצה במדרון.  
 $W_x - \mu W_y = ma$

### נסכם:

בפרק זה למדנו, שכאשר גוף נע בתנועה מואצת פועל עליו כוח שקול או מעשי השונה מאפס.  
החוק השני של ניוטון קובע כי הכוח המעשי  $F$  שווה למכפלת מסת הגוף  $m$  בתאוצתו  $a$ .  $F = m \cdot a$  מעשי.  
תאוצת הגוף תמיד תהיה בכיוון הכוח המעשי (השקול).  
במצב שבו הכוח השקול הוא אפס, הגוף נע בתאוצה אפס, כלומר, תנועתו תהיה במהירות קבועה בקו ישר.  
מצב אחר שבו שקול כוחות שווה לאפס הוא מנוחה.







סיימת לעבור על פרק 1. ענה על שאלות הסיכום שלפניך. פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק ובדוק אם הם אכן הושגו.

1. מה קורה לגוף כאשר השקול של הכוחות הפועלים עליו שווה לאפס?

1

2. מהם סוגי התנועה של גוף, כאשר פועל עליו כוח מעשי F?

2

3. תאוצתו של גוף תלויה בשני גורמים. מה הם?

3

4. משקלו של אסטרונאוט על כדור הארץ הוא 600 ניוטון. מהי מסתו ומה משקלו על הירח?

4

5. מה התוצאה של הפעלת כוח על גוף בכיוון נגדי לתנועתו?

5

6. במה תלוי כוח החיכוך?

6

7. תאר את סוג תנועתו של צנחן מרגע יציאתו מהמטוס ועד נחיתתו על הקרקע.

7

8. ביצד משיגים מטוסים את המהירות הדרושה להם להמראה?

8

9. חשב את הכוח הגורם לתנועתו של גוף שמסתו 2 ק"ג והוא נע לכיוון תחתית מישור משופע חלק בעל זווית של  $37^\circ$ . חשב את תאוצתו. סרטט את הגוף ואת הכוחות הפועלים עליו.

1

---



---



---

10. חשב את התאוצה של גוף שנע על מישור אופקי לא חלק וכוח החיכוך הוא הכוח האופקי היחיד שפועל עליו, כאשר מקדם החיכוך הוא 0.3? סרטט את הגוף ואת הכוחות הפועלים עליו.

2

---



---



---

11. סרטט מדרון לא חלק בעל זווית של  $30^\circ$  ועליו גוף נע שמסתו 2 ק"ג.

סרטט וחשב את כל הכוחות הפועלים על הגוף.

מקדם החיכוך הוא 0.3.

חשב את התאוצה של הגוף וכיוונה?

3

---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---



---

האם החומר ידוע היטב?  
פנה למורה כדי לקבל הדרכה לקראת המבחן.





פרק 2:

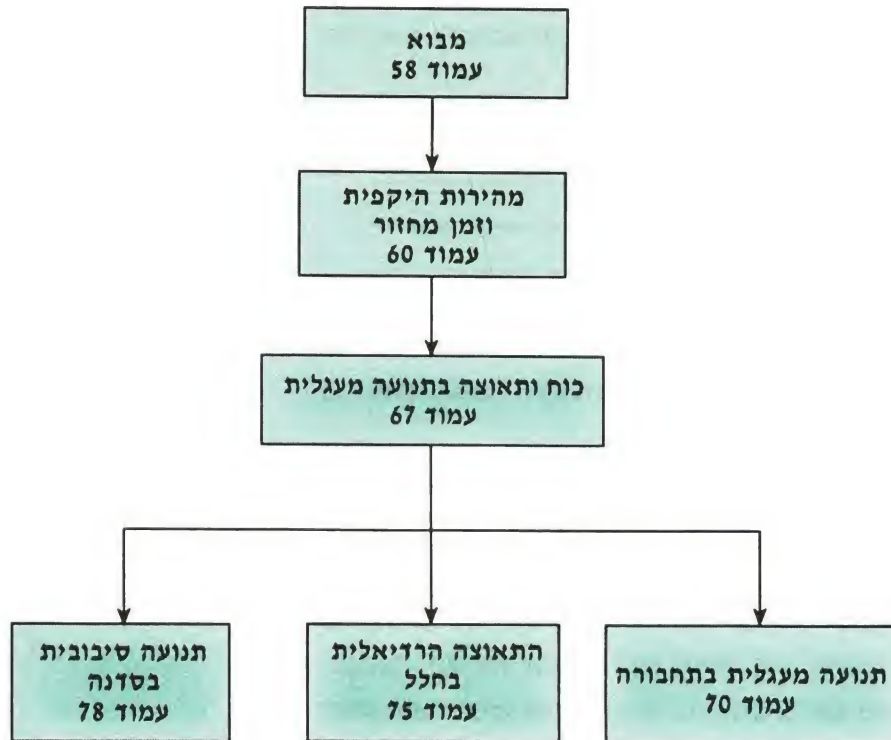
## תנועה מעגלית





## פרק 2: תנועה מעגלית

תרשים מהלך נושא הלימוד



עם סיום פרק הלימוד אתה אמור:

1. להכיר את המושגים: זמן מחזור, תדירות ומהירות היקפית  $V_{הק}$ .
2. לדעת כי בתנועה מעגלית קיים כוח שקול (מעשי) הפועל בכיוון המרכז וגודלו שווה ל-  $F = m \frac{V_{הק}^2}{R}$ .
3. לדעת כי  $\frac{V_{הק}^2}{R}$  הוא התאוצה הרדיאלית שקיימת בתנועה מעגלית.
4. לדעת כי כיוון התאוצה הרדיאלית הוא למרכז מעגל הסיבוב והיא גורמת לשינוי כיוון תנועת הגוף המסתובב.
5. לדעת מהו הגורם לתנועה מעגלית של כלי תחבורה.
6. להכיר את המושג הגבהת מעקמים.
7. לדעת כיצד מחשבים את מהירותו של לוויין המסתובב סביב כדור הארץ, את התדירות או את זמן המחזור שלו.
8. להכיר את התופעות הקשורות בתנועה מעגלית בסדנה.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנם הושגו.



## 2. א. מבוא

1. אחת ההמצאות ששינו את מהלך ההיסטוריה של האדם הייתה הגלגל.

תנועתו המעגלית של הגלגל איפשרה לאדם ליצור תנועות מחזוריות הדרושות להפעלת מכונות, כלי רכב וכד'.

א. תן תיאור דמיוני לחיי האדם הקדמון לפני המצאת הגלגל.

---



---



---



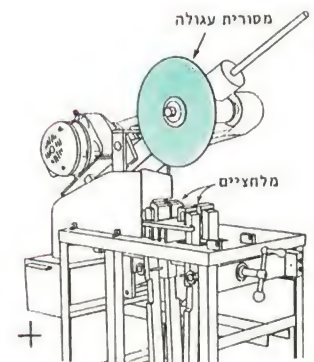
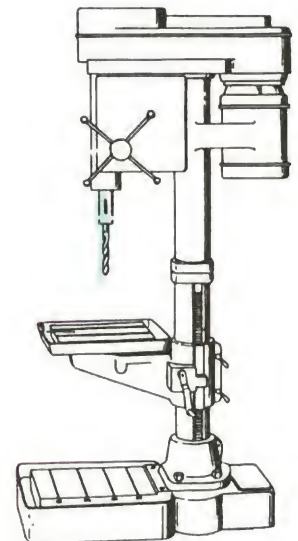
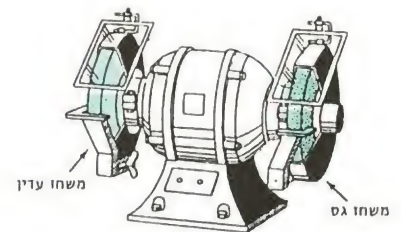
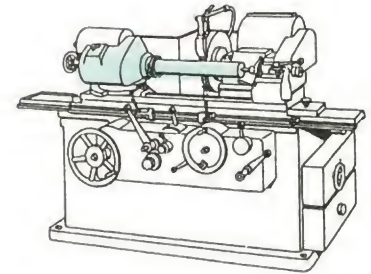
---

ב. ערוך רשימה של מתקנים הפועלים בעזרת גלגלים.

---



---



2. בסדנה יש שפע של מתקנים הנעים בתנועה סיבובית כגון: מחרטה, מקדחה, משחזת ומסור עגול (ציור 48). המאפיין את כולם הוא שהם מסתובבים במעגל סביב ציר סיבוב. אנו משתמשים בתנועתם המעגלית החוזרת ונשנית כדי לבצע את העבודה הנדרשת. רשום בטבלה את שמות המכשירים שבסדנה המבצעים תנועה סיבובית. הסבר כיצד מתבצעת העבודה בכל מכשיר באמצעות התנועה הסיבובית.

שם המכשיר	פעולת המכשיר בגלל תנועתו הסיבובית
מקדחה	המנוע מסובב את המקדח והוא מחורר חורים.
3	4
5	6
7	8
9	10

ציור 48:  
המתקנים בסדנה נעים בתנועה סיבובית

3.

לתנועה המעגלית שימושים נוספים בטכנולוגיה. לדוגמה, התוף של מכונת כביסה מסתובב בתנועה סיבובית. מה קורה לכביסה כאשר המכונה נמצאת במצב "סחיטה"? המים שבתוך מכונת הכביסה נעים מכיוון <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (המרכז/ההיקף) אל <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (היקפו/מרכזו) של התוף. המים דולפים דרך הפתחים שבהיקף התוף אל מחוץ למכונה (ציור 49). השם הכולל למתקן המסתובב הנמצא במכונת הכביסה למשל, או במכונות ייבוש, נקרא בשם צנטריפוגה.

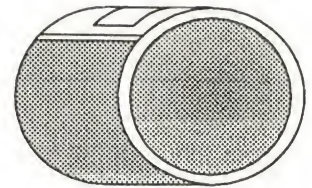
הצנטריפוגה משמשת גם לצרכים רפואיים (ציור 50). בעזרת צנטריפוגה מפרידה הלבורנטית במעבדה את הדם שנקח לבדיקה. בדם יש כדוריות אדומות ולבנות ונוזל הנקרא - פלסמה. סיבוב המבחנה, שבה נמצא הדם, במהירויות גבוהות, גורם לכדוריות הדם להיפרד מהפלסמה ולנוע לקצה החיצוני של המבחנה.

4.

מכונת הסובבת סביב כיכר מבצעת תנועה <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (מעגלית/בקו ישר). במערכת הכבישים הקדישו תשומת לב מיוחדת לתנועות אלה. כאשר נכנסים לערים מכבישים מהירים, נעים בתנועה <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (מעגלית/קווית) בצמתים סיבוביים (ציור 51). שים לב כי צמתים אלה בנויים כך, ששפת הכביש החיצונית גבוהה יותר מאשר השפה הפנימית. מבנה זה של הכביש מגביר את הבטיחות של נוסעי המכוניות, ומונע החלקה בזמן הסיבוב.

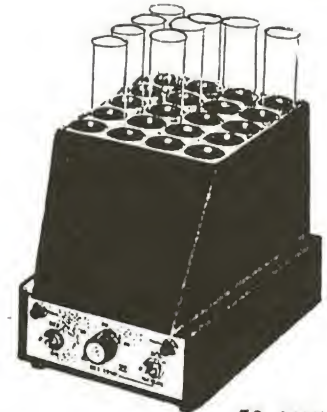
5.

תנועה מעגלית קיימת גם בתנועת גרמי השמים (ציור 52). לדוגמה, העובדה שהירח נראה משנה את צורתו במשך החודש נובעת מסיבובו סביב <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (הארץ/השמש/מאדים/נפטון). זמן סיבוב שלם של הירח סביב כדור הארץ הוא כ-28 יממות. כדור הארץ מסתובב סביב השמש ומשלים סיבוב שלם במשך <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (365/24/30/600) יממות, כלומר <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (שנה שלמה/חודש שלם/שבוע שלם).



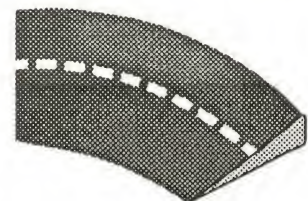
ציור 49:

המים דולפים מפתחי תוף מכונת הכביסה



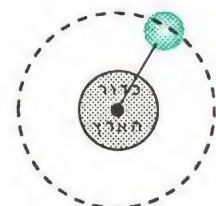
ציור 50:

צנטריפוגה



ציור 51:

שפת הכביש הפנימית נמוכה משפתו החיצונית



ציור 52:

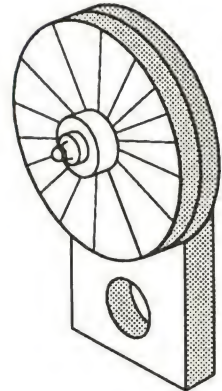
זמן מחזור של הירח סביב כדור הארץ הוא כ-28 יממות



## 2. מהירות היקפית וזמן מחזור



מכי 39



ציור 53:

מדידת זמן מחזור  
בתנועה מעגלית

1. קח את המתקן שלפניך (ציור 53) וסובב את הידית. תאר מה קורה למסה:

השתדל לסובב את הידית במהירות קבועה.  
המסה המסתובבת נעה על מעגל שרדיוסו R. התנועה המעגלית חוזרת על עצמה.  
הזמן הדרוש למסה לבצע סיבוב שלם אחד נקרא בשם זמן המחזור T.  
זמן המחזור T נמדד לרוב בשניות.  
נמדוד את זמן המחזור של המסה המסתובבת:

2. זמן המחזור T של המסה, כלומר הזמן הדרוש לה להקיף את מעגל התנועה (פעם אחת / פעמיים / עד מחצית הסיבוב) הוא קטן.  
לכן, נמדוד את הזמן הדרוש לביצוע 10 סיבובים. את הזמן הזה (נחלק/נכפיל/נחבר/נחסר) ל/מ/ב-10.  
באמצעות פעולה זאת נמצא את (התדירות/זמן המחזור) של המסה. לאחר שהמסה כבר מסתובבת, בחר לך את הנקודה המסומנת על מעגל הסיבוב כנקודת ההתחלה. ספור 10 פעמים נוספות שבהן מגיעה המסה לאותה נקודה. בצע את הניסוי שלוש פעמים. מדוד את הזמן הדרוש ל-10 סיבובים ורשום את התוצאות בטבלה שלפניך:

מס' הניסוי	זמן של 10 סיבובים (שנייה)	זמן המחזור (שנייה)
1	5	6
2	7	8
3	9	10

את הממוצע של זמן המחזור T נקבל בעזרת הנוסחה:

$$T = \frac{T_1 + T_2 + T_3}{3}$$

T =  11

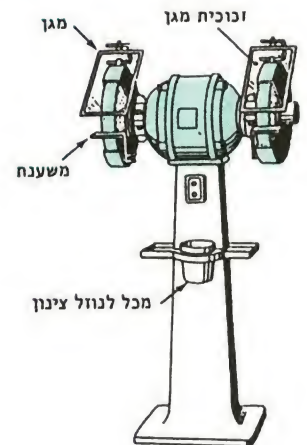
3. מהו זמן המחזור של כדור הארץ סביב השמש? <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ יממות.  
 מהו זמן המחזור של הירח סביב כדור הארץ? <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ שעות.  
 זמן המחזור T של סיבובי מנוע מכונת הוא 0.015 שנייה.

**נסכם:**

זמן מחזור בתנועה מעגלית הוא הזמן הדרוש לגוף לבצע סיבוב שלם אחד.



4. ידוע שלמתקני הסדנה השונים זמני מחזור אופייניים. לדוגמה, אחד מזמני המחזור האופייניים למשחזת לעיבוד פנימי הוא 0.001 שנייה, כלומר המשחזת מבצעת סיבוב אחד ב <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ ( $\frac{1}{10,000} / \frac{1}{1000} / \frac{1}{2000}$ ). הערכים המתקבלים עבור זמני המחזור של מכונת או המשחזת וכן של מתקנים אחרים הם קטנים, אינם מוחשיים ואינם נוחים לזיכרון ולכתיבה.  
 לכן, נגדיר מושג חדש הנקרא "תדירות", שבעזרתו יהיה קל יותר לבטא את זמן המחזור.



ציור 54:

זמן מחזור אופייני של משחזת הוא 0.001 שנייה

5. תדירות f

- תדירות סיבוב f היא **מספר הפעמים** שגוף מקיף מעגל במשך **שנייה אחת**. נתאר לעצמנו גוף המסתובב במעגל וזמן המחזור שלו:  $\frac{1}{2}$  שנייה  $T =$ .  
 הגוף משלים סיבוב אחד במשך <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ ( $\frac{1}{2}$  שנייה/2 שניות), לכן במשך שנייה אחת הוא משלים <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ ( $4/2/1$ ) סיבובים. גודלה של התדירות הוא  $2 \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$ .

**נסכם:**  $T = \frac{1}{2}$  שנייה  $f = \frac{1}{\frac{1}{2}} \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} = 2 \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$

- אם זמן המחזור יתקצר ל-  $\frac{1}{4}$  שנייה  $T =$ , אזי הגוף יבצע <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ ( $4/2/1$ ) סיבובים בשנייה. התדירות תהיה 4 סיבובים בשנייה.

**נסכם:**  $T = \frac{1}{4}$  שנייה  $f = \frac{1}{\frac{1}{4}} \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} = 4 \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$

באופן כללי, הקשר בין התדירות  $f$  וזמן המחזור  $T$  הוא:

א.  $f = T$     ב.  $f = \frac{1}{T}$     ג.  $f = \frac{1}{T^2}$     ד.  $f = \frac{1}{\sqrt{T}}$     (1)

סמן במעגל את התשובה הנכונה.

יחידת התדירות היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  או הרץ (Hz).

6. נחשב את התדירות  $f$  של סיבוב המנוע של מכונית (סעיף 3.ב.2). זמן המחזור של המכונית הוא 0.015 שנייה  $T$ .

(2)  $f = \frac{1}{\quad}$

(3)  $f = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} \quad \underline{\hspace{2cm}}$

ראינו שזמן מחזור של משחזר (סעיף 4.ב.2) הוא 0.001 שנייה.

תדירות המשחזר היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  <sup>4</sup>  $\underline{\hspace{2cm}}$ .

7. יחידה טכנית שימושית של התדירות היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}}$  או בראשי תיבות סל"ד (סיבובים לדקה).

לתדירות המבוטאת בסל"ד יש סימון מיוחד - n.

נחשב את הקשר בין הסל"ד וה-  $\frac{\text{סיבוב}}{\text{שנייה}}$ .

$$\frac{1 \text{ סיבוב}}{1 \text{ דקה}} = 1 \text{ סל"ד}$$

5  $1 \text{ דקה} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ שניות}$

לכן:  $1 \text{ סל"ד} = \frac{1 \text{ סיבוב}}{60 \text{ שניות}}$

נכפיל ב-60 את שני האגפים. נקבל: 60 סל"ד =  $\frac{1 \text{ סיבוב}}{1 \text{ שנייה}}$

6  $\frac{2 \text{ סיבובים}}{1 \text{ שנייה}} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 2 \text{ סל"ד} = \underline{\hspace{2cm}} \text{ סל"ד}$

7  $10 \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} = \underline{\hspace{2cm}} \cdot 60 = \underline{\hspace{2cm}} \text{ סל"ד}$

8 ולכן:  $f \cdot \underline{\hspace{2cm}} = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} f$

או:

$n = 60f$

$$n = 60f$$

8. נחשב את התדירות  $n$  (בסל"ד) של סיבובי מנוע מכונית (1) ושל משחזת (2), שאת התדירויות שלהם ביחידה  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  חישבנו בסעיף 6.ב.2.

$$f_1 = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} = 66 \frac{2}{3} \text{ מכונית}$$

$$f_2 = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} \text{ משחזת}$$

9 סל"ד  $n_1 = \frac{2}{3} \cdot 66 =$  מכונית

10 סל"ד  $n_2 =$  משחזת

נסכם:

א. תדירות  $f$  היא מספר הסיבובים שגוף מבצע בשנייה אחת.

היחידה היא  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  או הרץ.

ב. היחידה הטכנית של התדירות  $n$  היא סל"ד ( $\frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}}$ ).

$$n = 60f$$

9. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלות פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש.מכ' ג.2 כדי להשוות את פתרון עם הפתרון הנכון.

לפניך טבלה של תדירויות מקסימליות או זמני מחזור מזעריים של מכשירי סדנה שונים. מלא את המשבצות הריקות שבטבלה.

מכשיר	$n$ (סל"ד)	$f$ ( $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$ )	$T$ (שניות)
מחרטה	2200	11	12
משחזת לכלי עבודה	13	14	0.02
מקדחה	15	45	16
משחזת לעיבוד פנימי	17	2000	18
כרסומת	2000	19	20

מלא את המשימה! פנה למורה לקבלת שקף בקרה!



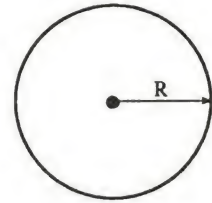
ש. מכ' ג.2



# 10. מהירות היקפית

מכונית נעה בתנועה סיבובית על \_\_\_\_\_ (רדיוס/קוטר/היקף) מעגל. מרחק התנועה של סיבוב שלם על פני מעגל בעל רדיוס R הוא היקף המעגל (ציור 55) השווה ל:

$$2\pi R \quad (\pi = 3.14)$$



ציור 55:

היקף מעגל בעל רדיוס R הוא  $2\pi R$ . המהירות ההיקפית היא  $V = \frac{2\pi R}{T}$  הקי. T - זמן המחזור.

לתנועה לאורך היקף המעגל דרוש זמן. הזמן הדרוש להקפת מעגל שלם הוא זמן המחזור T. מרחק התנועה \_\_\_\_\_ (חלקי/כפול) זמן המחזור הוא מהירות התנועה. למהירות לאורך היקף המעגל קוראים בשם מהירות היקפית וסימונה V הקי. היקף המעגל הוא \_\_\_\_\_  $(2\pi R / \pi R)$  וזמן המחזור הוא \_\_\_\_\_  $(f/T)$ . לכן המהירות ההיקפית \_\_\_\_\_  $(\omega / \text{הקי})$  היא:

$$1. \frac{2\pi R}{T} \quad 2. \frac{T}{2\pi R} \quad 3. 2\pi RT \quad 4. \frac{2\pi}{RT}$$

סמן במעגל את התשובה הנכונה.

11. חשב את מהירותה ההיקפית של מכונית (ציור 56), המקיפה כביש מעגלי שרדיוסו 200 מטר במשך דקה ו-20 שניות?



ציור 56:

המהירות ההיקפית של המכונית  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  15.7

## פתרון:

המכונית מקיפה את המעגל במשך \_\_\_\_\_ ו \_\_\_\_\_ שניות, כלומר זמן המחזור שלה הוא: \_\_\_\_\_ שניות. נתונים:

$$80 \text{ שניות} = T \text{ זמן המחזור} \quad 8$$

$$R = \text{מטר} \text{ רדיוס המעגל}$$

?  $V =$  הקי המהירות ההיקפית של המכונית

$$V = \frac{\text{הקי}}{T}$$

$$V = \frac{2 \cdot 3.14 \cdot 200}{8}$$

$$V = \text{_____}$$

12. הנוסחה  $V = \frac{2\pi R}{T}$  הק' יכולה להיכתב כתלות בתדירות  $f$  במקום בזמן המחזור  $T$ .

נרשום את  $V$  הק' בצורה  $V = 2\pi R \cdot \frac{1}{T}$  הק'. במקום  $\frac{1}{T}$  נציב  $(\frac{1}{f})$  <sup>1</sup> ונקבל:

$$V = 2\pi R f$$

13. נתונה דיסקה המסתובבת סביב ציר סיבוב העובר דרך מרכזה 0. על

הדיסקה מסומנות 3 נקודות A, B, C (ציור 57).

לנקודות אלה זמן מחזור ותדירות <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/שונה) כיוון שהן נעות על אותה דיסקה.

כל אחת מהנקודות מקיפה את המרכז, לכן יש להן מהירות <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (זוויתית/היקפית).

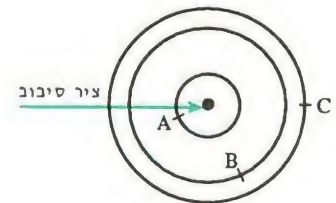
האם לכל הנקודות מהירות היקפית שווה? <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (כן/לא).

הנימוק הוא שכל נקודה נמצאת במרחק <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/שונה)

מהמרכז. יש להן רדיוס <sup>6</sup> R \_\_\_\_\_ (שווה/שונה).

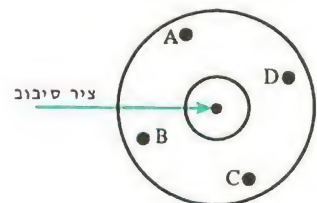
ככל שהרדיוס גדול יותר כך המהירות ההיקפית <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (גדולה/קטנה) יותר.

לנקודות הנמצאות על הדיסקה במרחק שווה מציר הסיבוב (ציור 58), יש מהירות היקפית <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/שונה).



ציור 57:

דיסקה המסתובבת סביב ציר סיבוב



ציור 58:

הנקודות A, B, C, D נמצאות במרחק שווה מציר הסיבוב. להן מהירות היקפית שווה.

#### נסכם:

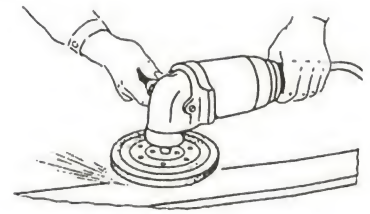
א. לכל נקודה הנמצאת על דיסקה במרחק שווה מציר הסיבוב יש מהירות היקפית שווה.

ב. לנקודות הנמצאות במרחק שונה מציר הסיבוב מהירות היקפית שונה. ככל שהמרחק גדול יותר, כך המהירות ההיקפית גדולה יותר, זאת לפי הנוסחה:

$$V = \frac{2\pi R}{T} \text{ הק' או } V = 2\pi R f \text{ הק'}$$



14. תרגיל: תדירות הסיבוב של אבן משחזת היא 1800 סיבובים / דקה.  
רדיוסה של האבן 10 ס"מ. מהי המהירות ההיקפית של נקודה  
הנמצאת על היקפה החיצוני?



פתרון:

נתונים:

$$f = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} \quad ; \quad v = \text{סל"ד} = n \text{ תדירות המשחזת}$$

$$R = \text{רדיוס הסיבוב} = 10 = 0.1$$

?  $v =$  מהירות היקפית

$$v = 2\pi Rf$$

$$v = 2 \cdot \dots \cdot \dots \cdot \dots$$

$$v = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 18.84$$

צור 59:

אבן משחזת,

תדירות הסיבוב שלה

1800 סל"ד והרדיוס - 10 ס"מ

15. מהי המהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על מחצית הרדיוס?  
כלומר, חשב את המהירות של נקודה הנמצאת במרחק של  
0.05 מ'  $R' =$  מציר הסיבוב של המשחזת.

פתרון:

נתונים:

$$f = \text{תדירות}$$

$$R' = \text{רדיוס סיבוב}$$

$$v' = ? \text{ מהירות היקפית}$$

---

---

---

---

---

---

---

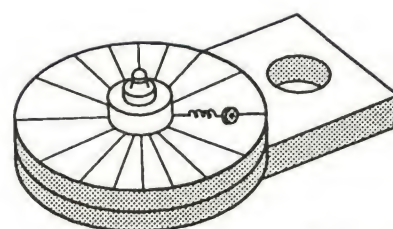
## 2.g כוח ותאוצה בתנועה מעגלית



מכ" 40

1. סובב את המסה שלפניך בעזרת ידית המתקן, ניסוי מכ" 40 (ציור 60). המסה נעה בתנועה <sup>1</sup>\_\_\_\_\_ (קווית/מעגלית). השתדל לסובב את הידית **בתדירות קבועה**. למסה המסתובבת יש מהירות היקפית שגודלה כמעט <sup>2</sup>\_\_\_\_\_ (קבועה/משתנה). הקפיץ שאליו קשורה המסה <sup>3</sup>\_\_\_\_\_ (מתרופף/נמתח) בשעת הסיבוב, כלומר על המסה פועל **כוח**. <sup>4</sup>\_\_\_\_\_ (מרכז/היקף) המעגל. הכוח הפועל **על הגוף** מכיוון אל \_\_\_\_\_

2. נוכל להסיק, שבתנועה מעגלית במהירות היקפית שגודלה קבוע, פועל **כוח אל המרכז**. לפי החוק השני של ניוטון: כאשר קיים כוח, **קיימת תאוצה**. כיוונו של הכוח אל מרכז המעגל, לכן **כיוון התאוצה** (שהוא כזכור וקטור) אף הוא אל <sup>5</sup>\_\_\_\_\_ (היקף/מרכז) המעגל. מדוע יש כאן תאוצה? הרי הגוף נע לכאורה במהירות היקפית קבועה.



ציור 60:

על המסה המסתובבת פועל כוח בכיוון מרכז מעגל הסיבוב

3. תאוצה אינה מבטאת רק שינוי בגודל המהירות. תאוצה מבטאת גם את השינוי **בכיוון** המהירות. התבונן בציור 61. מהירותו של הגוף  $V_1$  הקי' בתנועתו על המעגל בנקודה A, היא בכיוון <sup>6</sup>\_\_\_\_\_ (משיק למעגל/רדיוס המעגל/קוטר המעגל), כלומר אופקית שמאלה. כיוון המהירות **משתנה** ולאחר פרק זמן, בנקודה B, היא בכיוון <sup>7</sup>\_\_\_\_\_ (המשיק/הרדיוס/הקוטר) <sup>8</sup>\_\_\_\_\_ (למעלה/למטה/ימינה/שמאלה).

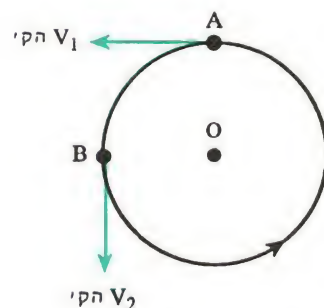
מהירות היקפית של גוף נקודתי היא וקטור שכיוונו משיק למעגל וערכו שווה ל- $V = 2\pi Rf$  הקי'.

$V_1$  הקי' הוא וקטור המהירות ההיקפית בנקודה A.  $V_2$  הקי' הוא וקטור <sup>9</sup>\_\_\_\_\_ (המהירות/התאוצה) ההיקפית בנקודה B.

עבור מרווח זמן קצר מאוד  $\Delta t$ ,  $V_2$  הקי' יהיה <sup>10</sup>\_\_\_\_\_ (סמוך/רחוק) מאוד ל- $V_1$  הקי'.

ההפרש בין וקטורי המהירות  $V_1$  הקי' ו- $V_2$  הקי' נותן את התאוצה בתנועה מעגלית; ליתר דיוק את הביטוי:  $a \cdot \Delta t$ .

את ההפרש  $a \Delta t$  מקבלים על ידי **חיבור** ( $V_1$  הקי') (כלומר וקטור  $V_1$  הקי' הפוך בכיוונו) לווקטור  $V_2$  הקי'.

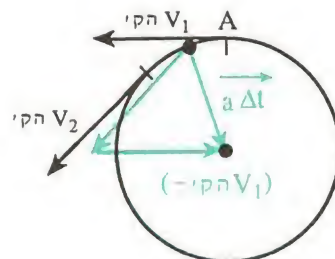


ציור 61:

גוף נע על מעגל 0 במהירות היקפית שגודלה קבוע. כיוון המהירות משתנה, לכן קיימת תאוצה.



תאוצה זאת מכוונת תמיד אל מרכז המעגל ולכן נקראת תאוצה רדיאלית,  $a_R$  (ציור 62).  
(רדיאלית - מהמילה רדיוס, שכן התאוצה מכוונת תמיד בכיוון הרדיוס אל המרכז).



ציור 62:

וקטור המהירות  $V_2$  הקי  
סמוך לווקטור  $V_1$  הקי,  
הזמן  $\Delta t$  בין המהירויות  
הוא קצר. את הווקטור  
 $a \Delta t$  מקבלים על ידי  
חיבור ( $V_1$  הקי -)  
ל- $V_2$  הקי.



**נסכם:**

- א. על כל מסה הסובבת במעגל במהירות היקפית שגודלה קבוע, פועל כוח בכיוון מרכז מעגל הסיבוב.
- ב. למסה זו יש תאוצה שכיוונה הוא אל מרכז מעגל הסיבוב.
- ג. תאוצה זו נקראת תאוצה רדיאלית.

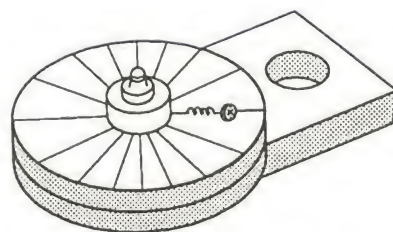


מכ' 41

4. א. סובב את ידית מתקן התנועה המעגלית (ציור 63) (המוזכר בסעיף 1.ג.2) בתדירות מסוימת (ניסוי מכ' 41). לגוף המסתובב יש מהירות היקפית. בחן היטב מה קורה לקפיץ במהלך הסיבוב. הקפיץ <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (רפוי/מתוח), כלומר פועל כוח אל המרכז. למסה יש <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (תאוצה/מהירות) בכיוון משיק המעגל. למסה יש תאוצה המכוונת אל <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (מרכז המעגל/משיק המעגל).

ב. סובב את הידית בתדירות גבוהה יותר. למסה יש עתה מהירות היקפית <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (גדולה/קטנה) יותר. התבונן בקפיץ. ככל שתדירות הסיבוב גבוהה יותר הוא <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (מתארך/מתקצר) יותר, כלומר על המסה פועל כוח הולך <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (וקטן/וגדל) אל המרכז.

**מסקנה:** ככל שהמהירות ההיקפית גדלה, כך התאוצה הרדיאלית גדולה יותר.



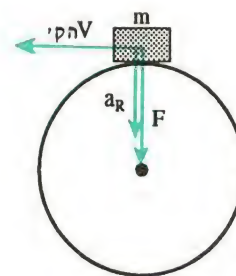
ציור 63:

מתקן התנועה המעגלית.  
ככל שתדירות הסיבוב גדלה  
והמהירות ההיקפית גדלה, כך  
גדלה התאוצה הרדיאלית.

5. ניסויים מדויקים מראים כי גודלה של התאוצה הרדיאלית הוא:

$$a_R = \frac{v^2}{R}$$

$v$  הקי - מהירות היקפית.  $R$  - רדיוס מעגל הסיבוב. התאוצה הרדיאלית נקראת גם תאוצה צנטריפוגלית - תאוצה מרכזית. התאוצה נגרמת על ידי כוח או שקול כוחות (כוח מעשי) המכוון אל מרכז מעגל הסיבוב (ציור 64).



ציור 64:

הכוח המעשי שפועל על גוף הנע בתנועה מעגלית הוא:  
כאשר  $F = m \frac{v^2}{R}$   
היא התאוצה הרדיאלית  $a_R$ .



**נסכם:**

א. כוח יחיד או שקול כוחות (כוח מעשי) בכיוון מרכז הסיבוב הפועל על גוף בעל מהירות  $v$  גורם לו לנוע בתנועה מעגלית.

ב. לגוף הנע בתנועה מעגלית יש תאוצה רדיאלית (צנטריפוגלית) שגודלה  $a_R = \frac{v^2}{R}$

6. לפי החוק השני של ניוטון גודלו של הכוח המעשי  $F$  הפועל על גוף הנע בתנועה מעגלית הוא:

$$F = m \frac{v^2}{R} \quad m - \text{מסת הגוף.}$$

**נסכם:**

הכוח השקול  $F$  (המעשי) הפועל על מסה  $m$  הנעה בתנועה מעגלית שווה ל:

$$F = m \frac{v^2}{R}$$



## 2.2 תנועה מעגלית בתחבורה

1. פעמים רבות קורה, שכאשר מכונית מסתובבת במעגל, נשמעות חריקות (ציור 65). מה מקורן של חריקות אלה?  
 כאשר המכונית מסתובבת נוצר כוח חיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  בין הכביש לצמיגים. כיוון הכוח הוא אל \_\_\_\_\_ (מרכז/היקף) מעגל התנועה. החריקות הן תוצאה מהפעלת כוח החיכוך הנ"ל. **בכביש שטוח** כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  הוא הכוח היחיד שגורם למכונית לנוע בתנועה מעגלית, ולכן לפי החוק השני של ניוטון:

$$F_{\text{חכ'}} = m \frac{V^2}{R}$$

2. כוח החיכוך שגורם למכונית בעלת מסה של 500 ק"ג לנוע במחלף מעגלי שווה ל-2500 ניוטון. רדיוס מעגל הסיבוב 125 מטר. מהי המהירות ההיקפית של המכונית?

פתרון:

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  הוא הכוח היחיד שפועל על המכונית וגורם לה לנוע במעגל (ציור 66). כיוון הכוח הוא אל \_\_\_\_\_ (היקף/מרכז) המעגל.

נתונים:

500 ק"ג  $m =$  מסת המכונית  
 125 מטר  $R =$  רדיוס מעגל הסיבוב  
 2500 ניוטון  $F_{\text{חכ'}}$  כוח החיכוך

?  $V =$  מהירות ההיקפית (מהירות הסיבוב).

לפי החוק השני של ניוטון הכוח  $F_{\text{חכ'}}$  שווה ל \_\_\_\_\_ (חילוק/ מכפלת/חיבור/חיסור) מסת המכונית  $m$  \_\_\_\_\_ (ל/מ/ב) \_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצה/מעתק) המכונית.

התאוצה היא \_\_\_\_\_  $(\frac{V^2}{R}, \frac{V^2}{R}, \frac{V}{R}, \frac{V^2}{R})$

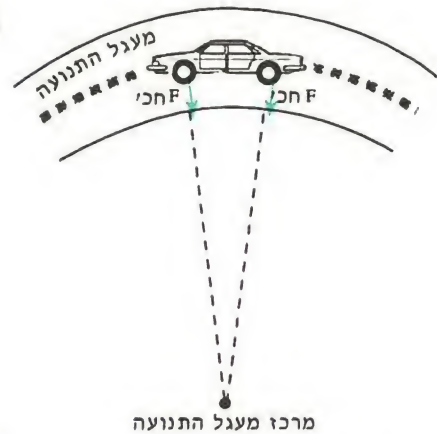
ולכן:  $F_{\text{חכ'}} = m \frac{V^2}{R}$

נציב ונקבל:  $\frac{2500}{125} = \frac{m V^2}{125}$

$V^2 = \frac{125 \times \boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}}$

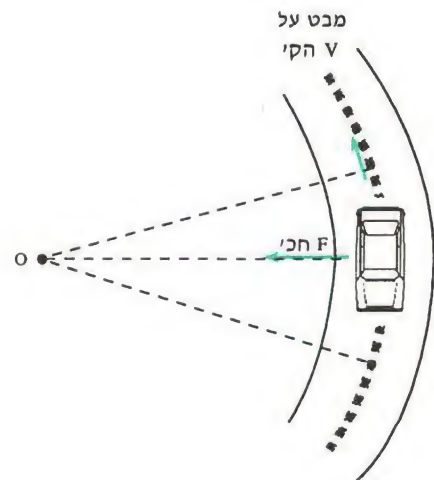
$V = \boxed{\phantom{000}}$

המהירות ההיקפית של המכונית היא 90 ק"מ/שעה.



ציור 65:

מכונית נעה בתנועה מעגלית בגלל כוח החיכוך שמפעיל הכביש עליה



ציור 66:

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ'}}$  הפועל על המכונית בתנועה המעגלית הוא 2500 ניוטון. מסתה 500 ק"ג.

3. מהו כוח החיכוך הדרוש למכונית כדי שתנוע בתנועה מעגלית במהירות היקפית של  $72 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$ ? רדיוס המעגל הוא  $1 \text{ ק"מ}$ . מסת המכונית  $750 \text{ ק"ג}$  (ציור 67).

פתרון:

נתונים:

מסת המכונית	$m = 750 \text{ ק"ג}$
רדיוס המעגל	$R = 1 \text{ ק"מ} = \boxed{\phantom{000}} \text{ מטר}$ <span style="color: red;">1</span>
מהירות היקפית	$V = \frac{72 \text{ ק"מ}}{\text{שעה}} = \frac{20 \text{ מטר}}{\text{שנייה}}$ <span style="color: red;">2</span>
$F = ?$ כוח החיכוך	

3. כוח החיכוך הוא הכוח היחיד שגורם לגוף לנוע בתנועה (קווית/מעגלית) ולכן גודלו שווה (הקף בעיגול את הנוסחה הנכונה):

$$F = \frac{mR}{V^2} \quad .2 \quad \text{כח'}$$

$$F = \frac{m V^2}{R} \quad .1 \quad \text{כח'}$$

$$F = \frac{m R^2}{V} \quad .4 \quad \text{כח'}$$

$$F = \frac{m V^2}{R} \quad .3 \quad \text{כח'}$$

רשום את הנוסחה הנכונה:

$$F = \underline{\hspace{2cm}} \quad .5$$

הצב את המספרים ותקבל:

$$\underline{\hspace{2cm}} \quad .6$$

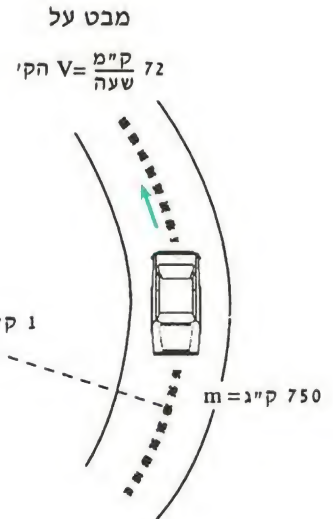
$$\underline{\hspace{2cm}}$$

$$F = 300 \text{ ניוטון} \quad \text{כח'}$$

4. נשים לב: כוח החיכוך הוא מוגבל. לכן, מכונית תחליק אם היא תיכנס לסיבוב במהירות הגדולה מזאת הנתונה בקשר:

$$F = m \frac{V^2}{R} \quad \text{מקסימלי}$$

( $F$  כח' מקסימלי הוא כוח החיכוך המירבי שהכביש עשוי להפעיל על המכונית המסתובבת).



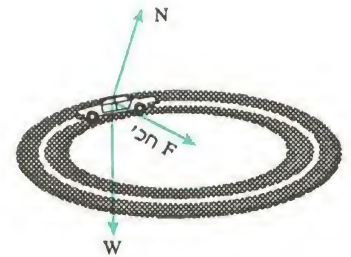
ציור 67:

מכונית שמסתה  $750 \text{ ק"ג}$  נעה במהירות היקפית של  $72 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  במעגל שרדיוסו  $1 \text{ ק"מ}$



במהירות העולה על  $V$  הקי' הרשומה בנוסחה, תעזוב המכונית את המסלול המעגלי ותמשיך לנוע בכיוון המשיק למעגל שבו הייתה אמורה לנוע. הסיבה היא כי כוח החיכוך המקסימלי איננו מספיק גדול כדי להחזיק את המכונית במסלול המעגלי הנתון. לכן, נהג מנוסה וזהיר מאט לפני סיבוב, במיוחד כאשר הכביש רטוב וכוח החיכוך שהכביש מפעיל \_\_\_\_\_ (קטן/גדל).

5. ראינו כי כוח החיכוך הוא הגורם למכונית לנוע בתנועה מעגלית. כוח החיכוך פועל \_\_\_\_\_ (במאונך/במקביל) לכביש. הכביש מפעיל על המכונית כוח נוסף. כוח זה הוא כוח \_\_\_\_\_ (הכובד/הנורמל)  $N$  הפועל כלפי (מעלה/מטה) (ציור 68).



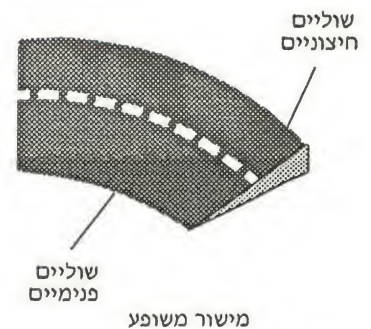
ציור 68:

חוץ מכוח החיכוך  $F$  חי מפעיל הכביש על המכונית כוח נורמל  $N$  כלפי מעלה

נזכור כי כוח הנורמל הוא הכוח שמפעיל משטח על גוף במאונך לו. כוח זה הוא תגובה של כוח העקה שמפעיל הגוף על המשטח.



כוח הנורמל בכביש אופקי אינו משפיע ישירות על התנועה המעגלית כי הוא \_\_\_\_\_ (מקביל/באלכסון/מאונך) למישור הכביש האופקי בו נמצא מעגל הסיבוב ולכן הוא מאונך לכיוון רדיוס מעגל הסיבוב. כוח מאונך לרדיוס מעגל התנועה אינו גורם לתנועה סיבובית.

ציור 69:  
כביש מוגבה

6. כיצד פועל כוח הנורמל כאשר הכביש מוגבה? כביש מוגבה (ציור 69) בנוי כך שהשוליים החיצוניים שלו מהווים קצה של מדרון ביחס לשוליו הפנימיים. אם "נחתוך" את הכביש לרוחבו תהיה לו צורה של מישור משופע (מדרון) (ציור 70). הזווית  $\alpha$  היא זווית ההגבהה של השוליים החיצוניים יחסית לפנימיים.

ציור 70:  
חתך רוחב של כביש מוגבה

7. נניח שהכביש המוגבה חלק לחלוטין. במצב כזה לא יפעל על המכונית כל כוח <sup>5</sup> (כובד/נורמל/חיכוך).  
 הכוחות שיפעלו על המכונית יהיו הנורמל <sup>6</sup>  $N$  (המאונך/המקביל) למדרון וכוח המשיכה  $W$  (ציור 71). כאשר מכונית מסתובבת על פני כביש מוגבה, שבו השוליים הנמוכים נמצאים מימין לשוליים הגבוהים, רדיוס המעגל מכוון ימינה, והוא מקביל למישור הקרקע.

8. מהו הכוח הגורם למכונית לנוע בתנועה מעגלית? כוח זה חייב להיות מכוון אל מרכז מעגל התנועה  $O$ , כלומר <sup>7</sup> (מאונך/מקביל) לרדיוס  $R$ . כוח כזה אינו נראה במפורש בציור 71. אולם אם נשים לב היטב, הנורמל  $N$  נוטה בזווית <sup>8</sup> (קטנה/גדולה) מ- $90^\circ$  ל- $R$ .

מכאן שלכוח הנורמל  $N$  יש רכיב הפונה בכיוון  $R$ . רכיב זה הוא הכוח הגורם לתנועה המעגלית.

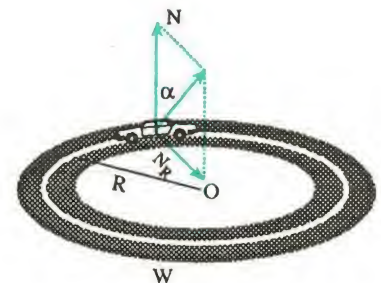
כדי למצוא את הרכיב הנ"ל יש לפרק את  $N$  לרכיבים. האחד  $N_R$  בכיוון הרדיוס  $R$  והשני <sup>9</sup> (באלכסון/במאונך) ל- $R$  (ציור 72).

<sup>10</sup>  $N_R$  הוא הגורם לתנועה (בקו ישר/מעגלית), לכן:

$$N_R = m \frac{v^2}{R}$$

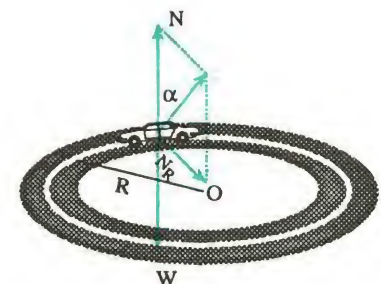
חישובים מראים שעבור אותו רדיוס סיבוב  $R$ , ככל שזווית ההגבהה  $\alpha$  גדולה יותר כך <sup>11</sup>  $N_R$  (גדול/קטן) יותר ולכן המהירות ההיקפית  $v$  גדולה יותר. כלומר, אפשר לנוע במהירות יותר גדולה בסיבוב.

**מסקנה:** כדי להגדיל את הבטיחות בכבישים הסיבוביים ולמנוע החלקות, בונים את הכבישים האלה בצורה של כביש מוגבה.



ציור 71:

כוח הכובד  $W$  וכוח הנורמל  $N$  הפועלים על מכונית בכביש מוגבה חלק. רדיוס הסיבוב מכוון ימינה במקביל לקרקע.



ציור 72:

הנורמל  $N$  מפורק לשני רכיבים: הרכיב  $N_R$  גורם לתנועה המעגלית.



**נסכם:**

- א. הרכיב האופקי של כוח הנורמל  $N$  בכביש מוגבה הוא הגורם לתנועה המעגלית.
- ב. ככל שזווית ההגבהה  $\alpha$  גדולה יותר מהירות התנועה המעגלית המותרת גדולה יותר.

9. הרכיב של כוח הנורמל הפועל על מכונית בכיוון R הוא 625 ניוטון  $N_R =$ .

מסת המכונית 250 ק"ג. מהי המהירות ההיקפית אם רדיוס הסיבוב 90 מטר?

הצב את הנתונים לתוך הנוסחה של  $N_R$  שבסעיף 8.7.2. התוצאה המתקבלת היא  $V = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 15$  הקי'.

---

---

---

---

---

---

---

---

10. העבודה ההנדסית של בניית כבישים באופן מוגבה נקראת "הגבהת מעקמים". בכביש מוגבה לא חלק, נוסף לכוח  $N_R$  גם **כוח חיכוך**, המכוון למרכז הסיבוב. כוח חיכוך זה <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (מגדיל/מקטין) את הכוח המעשי (השקול) שפועל על המכוניות בכיוון מרכז הסיבוב, כי הוא פועל <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (באותו כיוון/בכיוון מנוגד) לכוח  $N_R$ , כתוצאה מכך <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (גדלה/קטנה) המהירות ההיקפית המותרת בתנועה המעגלית.

**נסכם:**

הגבהת מעקמים מאפשרת מהירות היקפית גדולה יותר בתנועה מעגלית בכבישים סיבוביים.

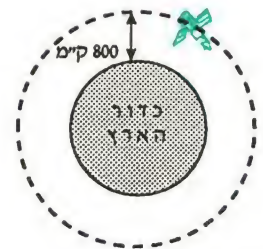




## 2. התאוצה הרדיאלית בחלל

1. לוויינים רבים סובבים עתה סביב כדור הארץ, ביניהם אנו מוצאים לווייני תקשורת שתפקידם להעביר שידורי רדיו וטלוויזיה. כמו כן קיימים לווייני מחקר הסובבים ואוספים נתונים פיסיקליים הקשורים לאטמוספירה ולהשפעת השמש על כדור הארץ. גם ישראל הצטרפה לאחרונה ל"מועדון בעלי הלוויינים בחלל".

2. התעשייה האווירית הישראלית שלחה באמצעות טיל את לווייני החקר אופק 1 ואופק 2. מפרסומים בעיתונים נודע כי הלוויין אופק 1 מסתובב במרחק ממוצע של 800 ק"מ מפני כדור הארץ (ציור 73). כדי שלוויין יסתובב סביב כדור הארץ בתנועה מעגלית, חייב לפעול עליו כוח בכיוון <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (משיק/מרכז) מעגל התנועה. כוח זה הוא כוח המשיכה  $W$  השווה ל-<sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (mx/mV/mg) שפועל בכיוון מרכז כדור הארץ.



ציור 73:

לוויין אופק 1 מסתובב סביב כדור הארץ במרחק ממוצע של 800 ק"מ מפניו

3. כידוע, ערכו של  $g$  על פני כדור הארץ הוא <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (1/5/10)  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  (ניוטון/ק"ג). לכן אם לוויין בעל מסה של 500 ק"ג יסתובב בתנועה מעגלית בדיוק על פני כדור הארץ (ציור 74) הכוח שיפעל עליו יהיה 5000 ניוטון.

4. ערכו של  $g$  הולך ו-<sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (קטן/גדל) ככל שמתרחקים ממרכז כדור הארץ.

5. הלוויין אופק 1 מסתובב סביב כדור הארץ בגובה של <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ ק"מ מעל פני כדור הארץ. לכן, ה- $g$  הנמדד בגובה זה הוא קטן מ- $10 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  וגודלו בערך  $8 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$ .



ציו 74:

על לוויין המסתובב בדיוק על פני כדור הארץ פועל כוח

$$W = mg$$

$$g = 10 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$$

4. נחשב את מהירותו ההיקפית של אופק 1.

פתרון:

נתונים:

$$g = 8 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \text{ תאוצת הכובד}$$

$$R = \text{מטר} = \text{ק"מ } (800 + 6400 \text{ ק"מ}) \quad 6$$



נשים לב כי רדיוס הסיבוב של אופק 1 נמדד ממרכז כדור הארץ.

$$V = ? \text{ מהירות היקפית של אופק 1.}$$

הכוח הפועל על אופק 1 הוא:  $m \cdot 8$

ולכן:

$$8 \cdot m = \frac{m V^2}{R}$$

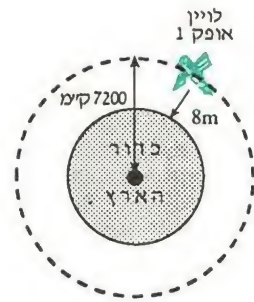
$$V^2 = 8R$$

נצמצם ב- $m$  ונקבל:

$$V = \sqrt{8 \cdot 7.2 \cdot 10^6}$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \quad 1$$

$$V = \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}} \quad 27,324$$



### ציור 75:

לוויין אופק 1 מסתובב במרחק 7200 ק"מ ממרכז כדור הארץ. פועל עליו כוח של 8m (m הוא מסת הלוויין).

5. מהו זמן המחזור T של אופק 1? כלומר, בכמה זמן הוא מקיף הקפה שלמה אחת את כדור הארץ (ציור 75)?

$$V = \frac{2\pi R}{T} \quad \text{מהירות היקפית}$$

$$T = \frac{2\pi R}{V} \quad \text{מכאן}$$

$$T = \frac{2\pi \cdot 7.2 \cdot 10^6}{V} \quad 2$$

$$T = \text{שניות} \quad 3$$

שהם שעה ו-40 דקות. 4

כלומר, כל פרק זמן של \_\_\_\_\_ יימצא אופק 1 מעל אותו מקום מעל פני כדור הארץ.



6. קרא באנציקלופדיה בריטניקה לנוער, כרך ט' בעמ' 119 בערך "ללויין", וענה על השאלות הבאות:

א. האם פועל כוח על הללויין, מי מפעיל אותו ובאיזה כיוון הוא פועל?

---



---



---

ב. ציין מספר שימושים לללויינים המשוגרים מכדור הארץ.

---



---



---

## 1.2 תנועה סיבובית בסדנה

וגרין הגלגל (קוהלת י"ב 6)

1. כמעט כל המכשירים החשמליים בסדנה פועלים בתנועה סיבובית. לדוגמה: מקדחה, מחרטה, משחז וכדומה. בעבודה עם מכשירים אלו יש להיזהר מחלקיקים העלולים להינתק מהם תוך כדי סיבובם.

2. המשחז עשוי גרגרים זעירים העשויים מתרכובת צורן ופחמן או מחומר נוקשה אחר (ציור 76).

הגרגרים צמודים זה לזה באמצעות דבק. בין הגרגרים יש חללי אוויר קטנים, הממלאים את תפקיד הרווחים שבין שיני השופין לדוגמה. כתוצאה מלחץ החומר שמשייפים, משתחרר הגרגר והוא נע בכיוון משיק לגלגל המשחז.

תפקיד הדבק הוא להפעיל כוח על הגרגרים כך שלא "יברחו", כאשר המהירות ההיקפית תהיה גדולה מדי.

על כל משחז רשום מספר הסל"ד המירבי שלו. יש לפיכך לחבר אליו את המנוע כך שישתובב בתדירות שלא תעלה על הסל"ד המירבי.

3. מסת גרגר המרכיב את המשחז היא 0.1 גרם. רדיוס המשחז 20 ס"מ ומספר הסל"דים שלו 3000.

באיזה כוח מזערי דבוק הגרגר לשפת המשחז כדי שלא יינתק ממנו?

פתרון:

את כוח האחיזה המזערי של הגרגר נקבל על ידי מכפלת \_\_\_\_\_  
(משקלו/מסתו/נפחו)  $m$  בתאוצתו הרדיאלית \_\_\_\_\_  
 $\left( \frac{R}{V^2} \right)$  \_\_\_\_\_  
אם הגרגר יהיה אחוז בכוח גדול יותר אזי ודאי  
שהוא \_\_\_\_\_ (לא יינתק/יינתק) משפת המשחז.

נתונים:

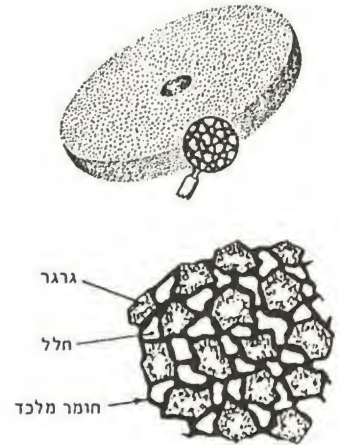
מסת הגרגר  $m = 0.1 \text{ ק"ג} = 0.1 \text{ גרם}$  \_\_\_\_\_  
מספר סיבובים לדקה  $n = \text{סל"ד}$  \_\_\_\_\_  
 $n = 60f$   $f = \frac{n}{60}$

תדירות  $f = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  \_\_\_\_\_

רדיוס המשחז  $R = \text{מטר} = \text{ס"מ}$  \_\_\_\_\_

כוח האחיזה  $F = ?$

$$F = \frac{m \cdot V^2}{R}$$



ציור 76:

המשחז בנוי מגרגרים נוקשים זעירים הצמודים זה לזה באמצעות דבק



בטיחות:

אל תפעיל משחזות בלי לקבל הוראות הפעלה מהממונה הישיר במפעל או מהמורה שבסדנה.

נחשב תחילה את המהירות ההיקפית  $V$ :

$$V_{\text{הק'}} = \frac{2\pi R}{T}$$

$$\frac{1}{T} = f \quad \text{למדנו ש:}$$

$$V_{\text{הק'}} = 2\pi R \quad \text{ולכן: } 1$$

נציב ונקבל:

$$V = 2\pi \cdot \quad \cdot 50 \quad 2$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \quad 3$$

$$F = m \frac{V_{\text{הק'}}^2}{R}$$

$$F = \quad \cdot \frac{(62.8)^2}{0.2} \quad 4$$

$$F = 2 \text{ ניוטון}$$

4. ביצעו ניסוי ומצאו כי כוח האחיזה של גרגר שמסתו 0.4 גרם במשחז הוא 35.5 ניוטון. מה חייב להיות הסל"ד המירבי של המשחז שרדיוסו 10 ס"מ כדי שהגרגר לא יינתק ממנו?

**פתרון:**

נתונים:

$$\begin{aligned} \text{ק"ג} &= \text{גרם} = \text{מסת הגרגר} & 5 \\ \text{מטר} &= \text{ס"מ} = \text{רדיוס המשחז} & 6 \\ \text{ניוטון} &= F = \text{כוח האחיזה של הגרגר} & 7 \end{aligned}$$

$$n = ? \text{ מספר הסל"דים} \quad 8$$



נחשב תחילה את המהירות ההיקפית לפי:

$$F = \frac{m'V^2}{R}$$

$$35.5 = \boxed{\phantom{000}} \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} \quad \text{נציב: } ①$$

$$V' = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \quad \text{מכאן: } ②$$

$$f = \frac{V'}{2\pi R}$$

$$f = \underline{\hspace{2cm}} \quad ③$$

$$f = \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} \quad ④$$

$$n = 60f$$

$$n = 9000 \text{ סל"ד}$$

#### נסכם:



בפרק זה למדנו להכיר את התנועה המעגלית מבחינותיה השונות. הכרנו את מושגי היסוד זמן מחזור, תדירות ומהירות היקפית. ראינו שבתנועה מעגלית קיימת תאוצה המכוונת אל מרכז המעגל. כדי לקיים תנועה מעגלית דרוש כוח המכוון באופן תמידי למרכז מעגל הסיבוב. גודלו של הכוח, או של שקול הכוחות (הכוח המעשי), הוא:

$$F = m \frac{V'^2}{R}$$

$$\frac{V'^2}{R} \text{ היא התאוצה הרדיאלית - הצנטריפטלית.}$$

הסברנו את תנועתם הסיבובית של כלי רכב על כביש מחוספס וכביש מוגבה. ראינו כיצד מתקיימת תנועה מעגלית בחלל. כמו כן הסברנו את התנועה הסיבובית בסדנה.

סיימת לעבור על פרק 2, ענה על שאלות הסיכום שלפניך.  
פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק ובדוק אם הם אכן הושגו.



1. הסבר את המושגים: } 1  
א. זמן מחזור ב. תדירות ג. מהירות היקפית.

---

---

---

---

---

---

---

---

2. מהי תאוצה רדיאלית ובמה היא תלויה?

---

---

3. מהו הכוח הגורם לתנועה מעגלית בכביש סיבובי, וכיצד?

---

---

---

4. מהי הגבהת מעקמים? הסבר!

---

---

---

5. כיצד נוכל למצוא את מהירותו של לוויין סביב כדור הארץ, אם ידוע גודלו של  $g$  בגובה רדיוס הסיבוב?

---

---

6. כיצד בנוי המשחזר ומהי הסכנה בהפעלתו?

---

---

---

7. מהי משמעות "סל"ד מירבי" של משחזר?

---

---

האם החומר ידוע היטב?  
פנה למורה כדי לקבל הדרכה לקראת המבחן.





פרק 3:

## תנע וחוק שימור התנע

---





### פרק 3: תנע וחוק שימור התנע

תרשים מהלך נושא הלימוד



עם סיום נושא הלימוד אתה אמור:

1. להכיר את מושג התנע ואת יחידותיו.
2. להכיר את חוק שימור התנע.
3. לדעת מהי התנגשות פלסטית ופתרונה באמצעות שימור התנע.
4. לדעת מהי התנגשות אלסטית ופתרונה באמצעות שימור התנע.
5. להכיר את מושג הרתע ולהבין אותו בעזרת חוק שימור התנע.
6. לדעת לחשב מהירות של קליעים.
7. להכיר את תהליכי ההתנגשות בכור אטומי.
8. להבין את תנועתם של רובה והקליע שלו.
9. להכיר את התנועה הסילונית.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנם הושגו.



### 3.א מבוא



#### ציור 77:

מצבים שבהם קיימת פעולת גומלין בין גופים, הגורמת לשינוי מהירותם



1. בפרקים הקודמים ראינו כיצד מחשבים תאוצה של גוף כתוצאה מכוח אחד או ממספר כוחות שפועלים עליו. ידיעת התאוצה מאפשרת לחשב את מהירותו של הגוף בכל רגע ורגע. בטבע, במדע, בטכנולוגיה ובחיי היום-יום ישנם מצבים שבהם משתנה מהירותם של מספר גופים. מדובר על שינוי במהירות הנובע כתוצאה מפעולת גומלין של הפעלת כוחות של הגופים זה על זה.

2. להלן דוגמאות מספר של מצבים כאלה:

1. התנגשות בין כלי רכב. כל אחת מהמכוניות מפעילה כוח על השנייה. כתוצאה מכך, מהירותן <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (נשאר קבועה/ משתנה).
2. אדם קופץ מרכב נוסע או ילד קופץ מעגלה. הילד מפעיל כוח על העגלה והעגלה <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (מפעילה/לא מפעילה) כוח על הילד. לדוגמה, אם העגלה הייתה במנוחה, לאחר האירוע, כלומר לאחר שהילד <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (קפץ מ-/נחת על) העגלה, העגלה תנוע.
3. ירי כדור מרובה (ציור 77), או באופן כללי, פליטת קליע מכלי ירי. במצב כזה הקליע נע לכיוון אחד והרובה נרתע <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (לאותו כיוון/לכיוון נגדי).
4. התנגשות בין פרודות האוויר תוך כדי מעופן, או התנגשות בין כדורי ביליארד (ציור 77).
5. חדירת גוף חד לתוך גוף אחר, כגון חדירת קליע לתוך שק (ציור 77). השק והקליע ינועו ביחד <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (לפני/לאחר) ההתנגשות.

3. בפרק זה נלמד גישה פיסיקלית אחרת, שבאמצעותה נוכל לחשב את מהירויותיהם של גופים לאחר פעולת גומלין ביניהם. לשם כך נגדיר מושג חדש בשם תנע וננסה חוק חדש - חוק שימור התנע.

פעולת גומלין - הפעלת כוחות של גופים זה על זה.

### 3.3 התנע ויחידותיו

1. נכיר עתה את מושג התנע. תנע של גוף הוא מכפלת מסתו  $m$  במהירותו  $V$ :  $mV$ .  
סימנו של התנע הוא  $P$ .

$$P = \boxed{\phantom{m}} \cdot V$$

תנע  $P$  הוא המכפלה של  $mv$ .  
מכפלת מסת גוף  $m$  במהירותו  $V$  נקראת תנע הגוף  $P$ .  
תנע הוא גודל וקטורי שכיוונו ככיוון מהירות הגוף  $V$ .



2. יחידת התנע מתקבלת על-ידי <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (חיבור/מכפלת/חילוק/חיסור) היחידה של המסה  $m$  <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (ב/ל) יחידת המהירות  $V$ .  
יחידת המסה היא: ק"ג.  
יחידת המהירות היא:  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .  
לכן יחידת התנע היא: ק"ג  $\cdot$   $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

נוכל לקבל את יחידת התנע גם בצורה אחרת:  
נכפיל בשנייה את ה-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  במונה ובמכנה.

$$\frac{\text{מטר} \cdot \text{שנייה}}{\text{שנייה} \cdot \text{שנייה}} \cdot \text{ק"ג}$$

$$\text{נקבל: } \text{ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה} \cdot \text{שנייה}} \cdot \text{שנייה}$$

$$\text{כלומר: } \text{ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \cdot \text{שנייה}$$

$$\text{אבל: } \text{ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} = \text{ניוטון}$$

לכן נקבל:  $\text{שנייה}$   $\downarrow$   $\text{ניוטון}$

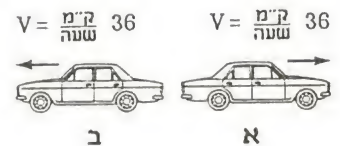
יחידת התנע היא ק"ג  $\cdot$   $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  או ניוטון  $\cdot$  שנייה





3. נחזור: תנע הוא המכפלה  $P = (ma/mV/mx)$  \_\_\_\_\_  
 יחידות התנע הן: (ק"ג  $\cdot$   $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  / ניוטון  $\cdot$  מטר/ניוטון  $\cdot$  שנייה/  
 ק"ג  $\cdot$   $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  / ק"ג  $\cdot$  ניוטון /  $\frac{\text{ניוטון}}{\text{מטר}}$ .)  
 רשום את היחידות הנכונות: \_\_\_\_\_ או \_\_\_\_\_ . ②

4. תנע של גופים שונים  
 מכונית שמסתה 1 טון נעה במהירות 36  $\frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  ימינה (ציור 78). מהו התנע שלה?



ציור 78:

מכונית א' שמסתה 1 טון נעה במהירות 36  $\frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  ימינה.  
 מכונית ב' נעה שמאלה באותו גודל של מהירות.

פתרון:  
 נתונים:  
 מסת המכונית  $m = 1 \text{ טון} = \boxed{\phantom{000}} \text{ ק"ג}$  3  
 מהירות המכונית  $V = 36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}} = \boxed{\phantom{000}} \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  4  
 תנע המכונית  $P = ?$   
 $P = mV$   
 $P = 1000 \cdot \boxed{\phantom{000}}$  5  
 $P = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \cdot 10,000 \text{ ק"ג}$

5. מהו התנע של מכונית זהה הנעה באותה מהירות אך בכיוון שמאלה? (כיוון ימינה הוא חיובי וכיוון שמאלה שלילי).



ציור 79:

התנע הכולל של שתי מכוניות בעלות תנע שווה והפוך בסימן, הוא אפס.

- פתרון:  
 הפעם סימנה של המהירות הוא \_\_\_\_\_ 6 (חיובי/אפס/שלילי) ולכן:

$P = \pm 10,000 \text{ נ"ט} \cdot \text{שני}$   
 $P = \boxed{\phantom{000}} \cdot \boxed{\phantom{000}} \cdot \boxed{\phantom{000}}$  7  
 ערך יחידות סימן

- אם נצרף את התנע של שתי המכוניות הרי התנע הכולל שלהן הוא \_\_\_\_\_ 8 (-10,000/0/10,000) ניוטון  $\cdot$  שנייה (ציור 79).

6. מהו התנע של קליע ברגע שהוא יוצא מלוע האקדח (ציור 80), אם

$$m = 5 \text{ גרם} \text{ ומהירותו } 600 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \text{? } V =$$

**פתרון:**

נתונים:

$$m = 5 \text{ גרם} = \boxed{0.005} \quad 1 \quad \text{מסת הקליע}$$

$$V = \boxed{\phantom{000}} \quad 2 \quad \text{מהירות הקליע}$$

$$P = ? \quad \text{תנע הקליע}$$

$$P = m \cdot \boxed{\phantom{000}} \quad 3$$

$$P = 0.005 \cdot \boxed{\phantom{000}} \quad 4$$

$$P = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \cdot 3 \text{ ק"ג}$$

התנע של הקליע לפני לחיצת הדק האקדח היה  $\boxed{0/-3/3}$  <sup>5</sup>

ק"ג  $\cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . זאת, מפני שהקליע היה במצב של  $\boxed{\phantom{000}}$  <sup>6</sup> (מנוחה/תנועה).

ידוע לכולנו כי בזמן ירייה האקדח נרתע לאחור, כלומר שכיוון מהירות האקדח  $\boxed{\phantom{000}}$  <sup>7</sup> (הפוך/זהה) לכיוון מהירות הקליע. סימן תנע הקליע הוא חיובי, לכן סימן התנע של האקדח יהיה  $\boxed{\phantom{000}}$  <sup>8</sup> (שלילי/חיובי/אפס).

**לפני הירי**, האקדח היה  $\boxed{\phantom{000}}$  <sup>9</sup> (במצב של תאוצה/מנוחה/במצב של מהירות קבועה), ולכן התנע שלו היה  $\boxed{\phantom{000}}$  <sup>10</sup> (חיובי/שלילי/אפס).

7. קליע שמסתו 5 גרם  $m$  נורה לתוך שק שמסתו 495 גרם  $M$  (ציור 81).

מהירות השק עם הקליע **לאחר** הפגיעה היא  $2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

מהו התנע של הקליע עם השק?

**פתרון:**

מסת השק עם הקליע שווה ל  $\boxed{\phantom{000}}$  <sup>11</sup> (סכום/הפרש/מכפלת) המסות, כלומר  $M + m$ .



ציור 80:

מסת הקליע 5 גרם  
מהירותו 600  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$

התנע שלו חיובי.  
התנע של האקדח שלילי.

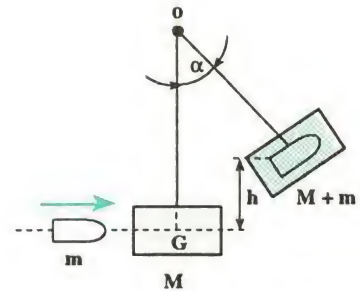
נתונים:

1  $M = 495 \text{ ק"ג} = 495 \text{ גרם}$  מסת השק

2  $m = 5 \text{ ק"ג}$  מסת הקליע

מהירות השק עם הקליע  $U = \frac{2 \text{ מטר}}{\text{שנייה}}$

התנע של השק עם הקליע  $P' = ?$



ציור 81:

קליע נורה לתוך שק.

מסת השק עם הקליע 0.5 ק"ג

מהירותם המשותפת 2 מטר / שנייה

אנו מסמנים את התנע של הקליע עם השק ב- $P'$  ואת מהירותם המשותפת ב- $U$ .

$P' = (M + m) \cdot U$

3  $P' = (0.495 + 0.5) \cdot 2$

4  $P' = 1$

הערה:

1.  $U$  מסמן לרוב מהירות לאחר התנגשות.

2.  $P'$  מסמן את התנע לאחר ההתנגשות.

8. מהירות הקליע המוזכר בסעיף הקודם הייתה לפני ההתנגשות

$200 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$

חשב את התנע שלו.

פתרון:

נתונים:

5  $m =$  מסת הקליע

6  $V =$  מהירותו לפני ההתנגשות

7  $P =$  התנע שלו הוא:

$P = 1 \text{ ניוטון} \cdot \text{שנייה}$

9. גולה שמסתה 5 גרם  $m_1$  נעה ימינה במהירות 4  $V_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .  
חשב את התנע שלה:

פתרון:

נתונים:

מסת הגולה  $m_1 =$  ק"ג \_\_\_\_\_ 1

מהירות הגולה  $V_1 =$  \_\_\_\_\_ 2

תנע הגולה  $P_1 = ?$

$$P_1 = 0.02 \text{ ניוטון} \cdot \text{שנייה}$$

10. גולה זו (ציור 82) פוגעת במסה  $m_2$  הגדולה ממנה פי 3 ונרתעת שמאלה במהירות  $(-2) U_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . לאחר ההתנגשות  $m_2$  נעה ימינה במהירות 2  $U_2 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .  
חשב את התנע על המסות לאחר הפגיעה.

פתרון:

נתונים:

מסת הגולה  $m_1 =$  ק"ג 5 גרם \_\_\_\_\_ 4

מהירותה לאחר ההתנגשות  $U_1 =$  \_\_\_\_\_  $(-2)$  5

תנע לאחר ההתנגשות  $P'_1 = ?$

(כאמור, סימון התנע לאחר ההתנגשות הוא  $P'$ )

$P'_1 =$  \_\_\_\_\_ 6

$P'_1 =$  \_\_\_\_\_  $(-0.01)$  7

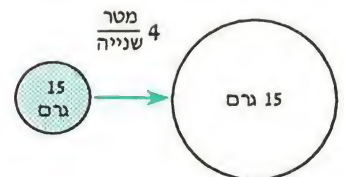
מסת הגולה הנפגעת  $m_2 = 3 \cdot 5 =$  גרם \_\_\_\_\_  $0.015$  ק"ג 8

מהירותה לאחר ההתנגשות  $U_2 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  2

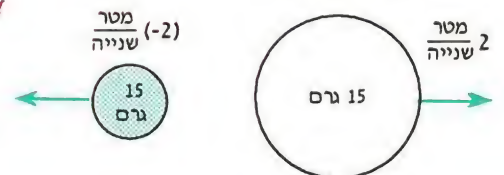
תנע של  $m_2$  לאחר ההתנגשות  $P'_2 =$  \_\_\_\_\_ 9

$$P'_2 = 0.03 \text{ ניוטון} \cdot \text{שנייה}$$

לפני ההתנגשות



לאחר ההתנגשות



ציור 82:

גולה  $m_1$  פוגעת במסה הגדולה ממנה פי 3,  $m_2 = 3m_1$ , והנמצאת במנוחה. לאחר ההתנגשות  $m_1$  נרתעת לאחור ו- $m_2$  מתקדמת. מהירותן לאחר ההתנגשות שווה בגודלה והפוכה בכיוונה.



11. מהו התנע הכולל  $P'$  של המסות לאחר ההתנגשות?

$$P' = P'_1 + P'_2$$

$$P' = (-0.01) + \text{_____} \quad (1)$$

$$P' = 0.02 \text{ ניוטון} \cdot \text{שנייה}$$

12. לפניך מתקן שבאמצעותו תוכל למדוד תנע של כדור מתכת (ציור 83). התנע של הכדור תלוי ב \_\_\_\_\_ (משקלו/מסתו/נפחו/שטח פניו) וב \_\_\_\_\_ (מהירותו/תאוצתו). את מסת הכדור תמצא על-ידי שקילתו במאזני כף.



מכ' 41א'

$$m = \text{גרם} \quad \text{_____} \quad m = \text{ק"ג} \quad \text{_____} \quad 4$$

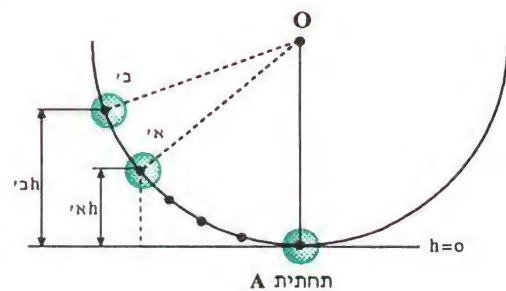
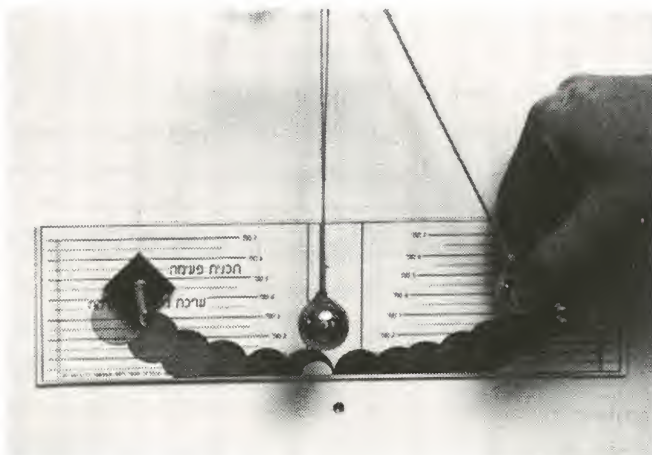
- א. הרם את הכדור הקשור לחבל לגובה  $h_A$  (גובה מצב א') נתון והפל אותו.
- ב. הרם את הכדור הקשור לחבל לגובה, גבוה יותר  $h_B$  (גובה מצב ב') והפל אותו.

מתי, לדעתך, תהיה לכדור מהירות גדולה יותר בתחתית A? 6

\_\_\_\_\_ (במצב א'/במצב ב' / בשני המקרים תהיה המהירות שווה).

לנוחיותך סומנו על לוח המתקן מהירויות הכדור שיתקבלו בתחתית A כאשר הוא מופל מגבהים שונים. ולכן לכל גובה סימנו מהירות שונה. ככל שהגובה יהיה רב יותר כך המהירות בתחתית תהיה \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה) יותר. 7

שחרר את הכדור מהנקודה הגבוהה ביותר המסומנת. מהירות הכדור בתחתית היא \_\_\_\_\_  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . 8



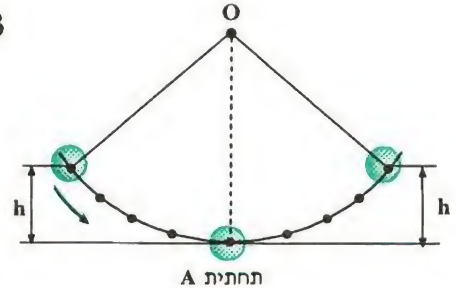
ציור 83:  
מתקן מדידת תנע  
של גולה בתחתית A.

13. תנע הכדור הוא:

$$P = mV$$

$$P = \dots$$

$$P = \dots$$



ציור 84:

שני כדורים משוחררים משני צידי המתקן מאותו גובה

14. לשני כדורים בעלי אותה מסה, שנופלים משני צידי המתקן מאותו

גובה h (ציור 84), יהיה בנקודת התחתית A תנע שגודלו המוחלט \_\_\_\_\_ (שווה/שונה) אך סימנו \_\_\_\_\_ (שווה/הפוך).

התנע הכולל שלהם, כלומר סכום התנעים, הוא \_\_\_\_\_ (התנע של כדור אחד/התנע של הכדור השני/אפס).

15. לפניך שני כדורים תלויים (לשניהם אותה מסה). הרם אחד מהם

( $m_1$ ) עד לנקודה הגבוהה ביותר שבמתקן (ציור 85).

את הכדור השני ( $m_2$ ) השאר במקומו.

התנע של הכדור  $m_2$  \_\_\_\_\_ (שונה מ/שווה ל) אפס, כי הוא נמצא במנוחה.

שחרר את הכדור  $m_1$ . ברגע פגיעתו בכדור הנח, מהירותו היא \_\_\_\_\_. התנע שלו:

$$P_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \cdot \text{ק"ג} \cdot \dots$$

$$P = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \cdot \text{ק"ג} \cdot \dots$$

לאחר ההתנגשות, כדור  $m_1$  \_\_\_\_\_ (המשיך לנוע/נעצר).

הכדור  $m_2$  הגיע לגובה המתאים למהירות \_\_\_\_\_ (השווה ל/

השונה מ) מהירות הכדור  $m_1$  ברגע שפגעה בו.

בצע את הניסוי מספר פעמים והיווכח שאכן מסת  $m_1$  נעצרה ומסה

$m_2$  נעה באותה מהירות שבה פגעה מסה  $m_1$ .

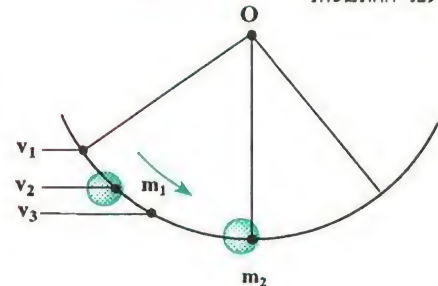
**הערה:** בגלל סיבות רבות (חיכוך וכו') הכדור  $m_2$  לא יגיע בדיוק

לגובה המתאים למהירות בה פגע בו הכדור  $m_1$ .

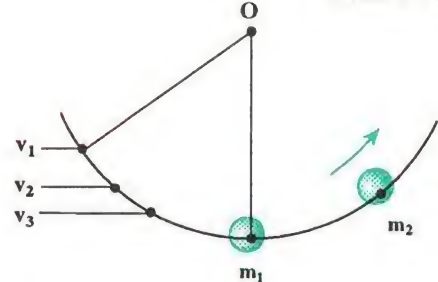


מכי 41 ב'

לפני ההתנגשות



לאחר ההתנגשות



ציור 85:

מסה  $m_1$  השווה בגודלה למסה  $m_2$  פוגעת ב- $m_2$  הנמצאת במנוחה. לאחר ההתנגשות תנוע  $m_2$  במהירות שבה פגעה בה.  $m_1$  תעצר.

### ג.3 חוק שימור התנע

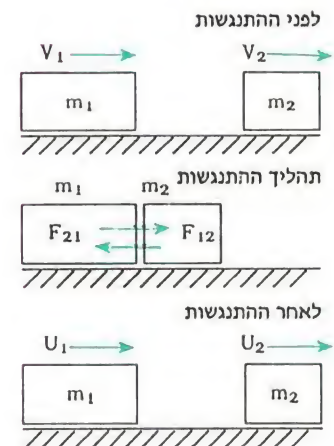
1. עד עתה למדנו לחשב את התנע של מסות נעות. ראינו כי יש לייחס לתנע סימנים של כיוון ( $\pm$ ). סימנו של התנע של מסה הנעה ימינה הוא חיובי (+). סימן התנע של מסה הנעה שמאלה הוא <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (חיובי/שלילי/אפס). התנע של מסה הנמצאת במנוחה הוא <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (חיובי/שלילי/אפס).

2. ראינו שלאחר פעולת גומלין, עשוי התנע של הגופים להשתנות. החוק שקובע את הקשר בין התנעים של הגופים לפני פעולת הגומלין ולאחריה הוא חוק שימור התנע (ציור 86). כאשר פעולת הגומלין היא בין שני גופים, שנעים על קו ישר בלבד, חוק שימור התנע ייכתב כך:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

- 1 מציין מסה מס' 1.  
2 מציין מסה מס' 2.  
V מציין את מהירות הגופים לפני הפעלת הכוחות ההדדיים - פעולת גומלין (כמו לפני התנגשות בין הגופים).  
U מציין את המהירות לאחר פעולת הגומלין.

באגף שמאל של משוואת שימור התנע רשום סכום התנעים של שתי המסות לפני פעולת הגומלין. באגף ימין רשום סכום התנעים (לפני/אחרי) הפעלת הכוחות. כאשר מדובר בשתי מסות  $m_1$  ו- $m_2$  שהתנגשו, יהיה סכום התנעים של המסות לפני ההתנגשות <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ ( $m_1 V_1 + m_2 V_2$ ) שווה לסכום התנעים לאחר ההתנגשות <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ ( $m_1 U_1 + m_2 U_2$ ).



ציור 86:

בין המסות  $m_1$  ו- $m_2$  קיימת פעולת גומלין. סכום התנעים של המסות לפני פעולת הגומלין שווה לזו שאחריה.

חוק שימור התנע: כאשר שני גופים מפעילים כוחות זה על זה וכתוצאה מכך משתנה מהירותם, סכום התנעים שלהם לפני פעולת הגומלין שווה לסכום התנעים שלאחריה.

$$(m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2)$$





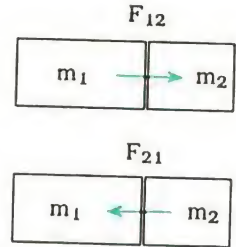
3. את חוק שימור התנע אפשר לאשר על ידי החוק השלישי של ניוטון (חוק הפעולה והתגובה) (ציור 87).

נזכור: החוק השלישי של ניוטון אומר, שכאשר גוף אחד מפעיל כוח על גוף שני, הגוף השני מפעיל על הראשון אותו כוח בכיוון נגדי.

אם גוף 1 מפעיל כוח  $F_{12}$  על גוף 2 הרי גוף 2 מפעיל כוח  $F_{21}$  על גוף 1 ו-  $F_{12} = -F_{21}$ .

הכוח  $F_{12}$  פועל על המסה  $m_1/m_2$  כיוונו  $^2$  (ימינה/שמאלה) ולכן סימנו  $+$ .

הכוח  $F_{21}$  פועל על המסה  $m_1/m_2$  כיוונו שמאלה ולכן סימנו  $^4$   $(-/+)$ .



ציור 87:

חוק שלישי של ניוטון:

גוף 1 מפעיל כוח  $F_{12}$  על

גוף 2.

גוף 2 מפעיל אותו כוח על

גוף 1 אך בכיוון נגדי,  $F_{21}$ .

4. כאשר כוח  $F$  (הכוח המעשי - השקול) פועל על מסה  $m$  הוא גורם לתאוצה.

$$F = ma$$

$$a = \frac{V_t - V_o}{\Delta t} \quad \text{התאוצה לפי ההגדרה היא:}$$

$$\Delta t \quad \text{זמן הפעלת הכוח}$$

$$V = V_o \quad \text{מהירות התחלתית של הגוף}$$

$$U = V_t \quad \text{מהירותו הסופית}$$

$$a = \frac{U - V}{\Delta t} \quad \text{מכאן}$$

נציב את נוסחת התאוצה בנוסחת הכוח ונקבל:

$$F = m \cdot \frac{U - V}{\Delta t} = \frac{mU - mV}{\Delta t}$$

$F$  הוא הכוח (המעשי-השקול) הפועל על המסה  $m$ .

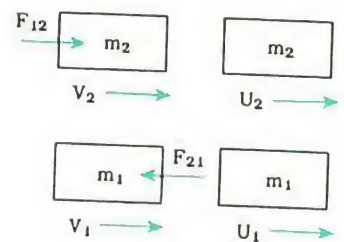
נכפיל את המשוואה האחרונה ב-  $\Delta t$  ונקבל:

$$F\Delta t = mU - mV$$

באגף השמאלי של המשוואה קיבלנו את הכוח כפול  $^5$

(מרחק התנועה/זמן פעולתו). גודל זה נקרא בשם מתקף.

ממשוואה זאת עולה כי המתקף גורם לשינוי בתנע (ציור 88).



ציור 88:

שינוי התנע של מסות

המתנגשות כתוצאה

מהמתקפים שהן מפעילות

זו על זו

א. מתקף - מכפלת כוח הפועל על מסה בזמן פעולתו  $F\Delta t$ .

ב. המתקף גורם לשינוי בתנע.  $F\Delta t = mU - mV$ .





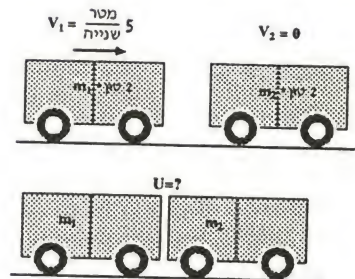
### ד.3 התנגשות פלסטית ואלסטית

#### א. התנגשות פלסטית

1. כאשר כתוצאה מהתנגשות בין שני גופים נוצר חוס, תכונה ההתנגשות **התנגשות פלסטית**.  
במצב שבו לאחר ההתנגשות ינועו הגופים המתנגשים צמודים זה לזה במהירות משותפת, ייווצר ללא ספק חוס. התנגשות זו תכונה בשם התנגשות פלסטית.  
אם המסות ייעצרו לאחר ההתנגשות \_\_\_\_\_ (ייווצר/לא ייווצר) חוס, וגם התנגשות זאת תכונה התנגשות פלסטית.

#### 2. התנגשות פלסטית בין כלי רכב

קרון רכבת שנע בכיוון ימינה במהירות 5 מטר/שנייה נצמד לקרון אחר הנמצא במנוחה. מסת כל אחד מהקרונות 2 טון (ציור 92). מהי המהירות המשותפת של הקרונות  $U$ ?



ציור 92:

התנגשות פלסטית בין שני קרונות רכבת

פתרון:

נתונים:

$$m_1 = m_2 = \text{טון } 2 = 2000$$

$$V_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 5 \quad V_2 = 0$$

$$U = ? \quad \text{מהירות משותפת של הקרונות}$$

$$V_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \quad \text{לפני ההתנגשות: מסה } m_1 \text{ נעה במהירות}$$

$$\text{התנע שלו הוא: } m_1 V_1 \text{ שווה ל- } (-10,000/+10,000)$$

$$\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}}$$

$$\text{המסה השנייה הייתה במצב של } (0) \text{ (תנועה במהירות}$$

$$\text{קבועה/תנועה בתאוצה/מנוחה), כלומר מהירותה הייתה אפס. התנע}$$

$$\text{שלה אף הוא אפס.}$$

$$\text{לפיכך, התנע הכולל לפני ההתנגשות הוא } (-10,000/+10,000)$$

$$(+10,000) \text{ (ק"ג} \cdot \text{מטר/שנייה) } \times \text{ניוטון } \times \text{מ}^2/\text{ק"ג} \cdot \text{מטר/שנייה}^2$$

לאחר ההתנגשות נעו שני הקרונות <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (בנפרד/יחדיו) במהירות  
 משותפת  $U$ . מסת הקרונות יחדיו היא <sup>2</sup> \_\_\_\_\_  $(m_1 + m_2/m_2/m_1)$   
 $(m_1 - m_2)$  לכן, התנע הכולל לאחר ההיצמדות הוא:  $(m_1 + m_2)U$   
 לפי חוק שימור התנע:

$$m_1 V_1 = (m_1 + m_2) U$$

$$2000 \cdot \text{_____} = (\text{_____} + \text{_____}) U \quad 3$$

$$U = \frac{\text{_____}}{4} \quad 2.5$$

3. קרון רכבת ריק שמסתו 2 טון  $m_1$  נע על פסי הרכבת במהירות  
 $V_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 5$  בכיוון ימינה.  
 קרון אחר עמוס שמסתו 4 טון  $m_2$  נע לקראתו (ציור 93). לאחר  
 ההתנגשות נעצרו שני הקרונות. מה הייתה מהירות הקרון העמוס?

פתרון:

נתונים:

$$5 \quad \text{ק"ג} = 2 \text{ טון} = m_1 \text{ מסת הקרון הריק}$$

$$\text{ק"ג} = 4 \text{ טון} = m_2 \text{ מסת הקרון העמוס}$$

$$V_1 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 5 \text{ מהירות הקרון הריק לפני ההתנגשות}$$

$$V_2 = ? \text{ מהירות הקרון העמוס לפני ההתנגשות}$$

הקרונות <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (המשיכו לנוע/נעצרו) לאחר ההתנגשות.  
 כלומר, מהירותם המשותפת היא <sup>8</sup> \_\_\_\_\_  $(\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 5 / \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 10 / 0)$ .  
 במצב הסופי התנע של כל אחד מהקרונות הוא <sup>9</sup> \_\_\_\_\_  $(m_1 \cdot 5)$

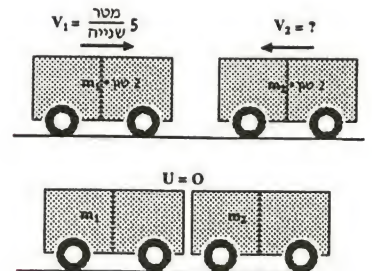
$m_2 V_2 / 0$ , ולכן התנע הכולל לאחר ההתנגשות הוא אפס.

$$m_1 \cdot V_1 + m_2 \cdot V_2 = 0$$

$$2000 \cdot \text{_____} + \text{_____} \cdot \text{_____} = 0 \quad 10$$

$$V_2 = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} (- \text{_____}) \quad 11 \text{ מכאן}$$

מהירותו של הקרון העמוס היא <sup>12</sup> \_\_\_\_\_ (חיובית/שלילית/אפס)  
 ביחס לכיוון הקרון הריק. כלומר, לפני ההתנגשות נע הקרון העמוס  
<sup>13</sup> \_\_\_\_\_ (באותו כיוון של הקרון/נגדי לכיוון הקרון) הריק  $m_1$ .  
 גודלה של המהירות  $V_2$  הוא <sup>14</sup> \_\_\_\_\_ (מחצית/שליש) ממהירות  
 הקרון הריק  $V_1$ .



ציור 93:

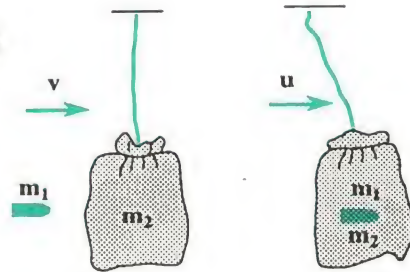
שני קרונות רכבת נעים זה  
 לקראת זה, מתנגשים  
 ונעצרים

4. התרגיל שפתרנו מלמד שבהתנגשות פלסטית ייעצרו שתי מסות לאחר ההתנגשות, אם לפני ההתנגשות יתקיימו התנאים דלקמן:
- א. שתי המסות חייבות לנוע אחת <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (לקראת/בכיוון של) השנייה.
- לכן סימנו המתימטי של תנע אחת המסות <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/הפוך) לזה של תנע המסה השנייה.
- ב. גודל התנעים של המסות לפני ההתנגשות <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (שווה/שונה).

### מדידת מהירות קליעים

אחת הדרכים למציאת מהירותם של קליעים היא לירות אותם לתוך שק בעל מסה גדולה הקשור בחבל ארוך לתקרה (ציור 94). הקליע ננעץ בשק ומסיט אותו. על פי מסות הקליע והשק והמהירות המשותפת שלהם, ניתן לחשב את מהירות הקליע. נחשב את מהירותו של קליע על פי התרגיל שלפנינו.

5.



ציור 94:

מציאת מהירות קליע בעזרת התנגשותו הפלסטית בשק תלוי

6.

- קליע שמסתו 10 גרם  $m_1$  ננעץ בשק שמסתו 990 גרם  $m_2$ . המהירות המשותפת של השק עם הקליע היא 2  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .  $U =$  מהי המהירות  $V$  של הקליע לפני פגיעתו בשק?

פתרון:

נתונים:

<sup>4</sup>  $m_1 = 10 \text{ גרם} = \boxed{\phantom{0000}} \text{ ק"ג}$  מסת הקליע

<sup>5</sup>  $m_2 = 990 \text{ גרם} = \boxed{\phantom{0000}} \text{ ק"ג}$  מסת השק

$V_2 = 0$  מהירות השק לפני ההתנגשות

$U = 2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  מהירות משותפת לקליע ולשק

$V_1 = V = ?$  מהירות הקליע

- <sup>6</sup> לפני ההתנגשות יש מהירות רק ל <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (שק/קליע), לכן התנע הכולל במצב זה הוא  $((m_1 + m_2)U/m_1V/0)$ .
- לאחר ההתנגשות נע השק ביחד עם הקליע. כלומר המסה  $(m_1 + m_2)$  נעה במהירות  $U$ .
- <sup>8</sup> התנע הכולל הוא  $((m_1 + m_2)U/m_1V/0)$ .

הנוסחה המבטאת את חוק שימור התנע היא:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$$

$$0.010 \cdot V + 0 = ( \quad + \quad ) \quad \text{9}$$

$$V = \quad \cdot 2 \quad \text{10}$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 200$$

כאשר מטפלים בחוק שימור התנע אין הכרח להפוך את יחידות המסה לק"ג. בשני צידי המשוואה מופיעה היחידה גרם והיא מצטמצמת, ולכן נוכל לכתוב:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$$

$$10 \cdot V + 0 = (10 + 990) \cdot U$$

$$V = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} 200$$

#### נסכם:

א. התנגשות פלסטית היא התנגשות שנוצר בה חוס.

ב. בהתנגשות פלסטית נעות המסות המתנגשות יחדיו לאחר ההתנגשות וקיים:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$$

ג. מהירות קליעים נמדדת על-ידי התנגשות פלסטית של קליע בשק תלוי.





### ב. התנגשות אלסטית

7. לפניך תיאור של שלוש התנגשויות שונות (ציור 95). מה לדעתך המשותף לשלושה אירועים אלו?
1. כדור גמיש נע על רצפה חלקה פוגע בקיר, משנה כיוון וחוזר בכיוון הנגדי באותה מהירות שבה הוא פגע בקיר.
  2. כדור מתנגש בכדור השווה לו במסתו ונמצא במנוחה. הכדור הפוגע נעצר והשני ממשיך באותה מהירות של הכדור הראשון.
  3. שתי מסות שוות נעות זו לקראת זו במהירות בעלת אותו גודל. הן מתנגשות וחוזרות במהירויות שוות מנוגדות.

בכל המקרים הללו **לא** נוצרת אנרגיית חום. ההתנגשות שבה לא נוצרת **כל אנרגיית חום** כתוצאה מהמגע בין הגופים בשעת התנגשותם, מכונה בשם **התנגשות אלסטית לחלוטין**.

8. כמו בהתנגשות פלסטית, כך גם בהתנגשות אלסטית קיים חוק שימור \_\_\_\_\_ (הזמן/התנע/המטען החשמלי).
- כאשר שתי המסות ינועו לפני ההתנגשות ולאחריה על קו ישר יתקיים השוויון:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

3  $V_1$  ו-  $V_2$  - מהירויות המסות  $m_1$  ו-  $m_2$  (לפני/אחרי) ההתנגשות.

4  $U_1$  ו-  $U_2$  - מהירויות המסות  $m_1$  ו-  $m_2$  (לפני/אחרי) ההתנגשות.

בהתנגשויות אלסטיות לחלוטין **בלבד** קיים שוויון נוסף שהוא:

$$V_1 - V_2 = U_2 - U_1$$

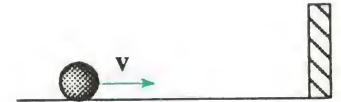
#### נסכם:

- התנגשות אלסטית לחלוטין היא התנגשות שבה לא נוצרת כל אנרגיית חום.
- נוסחאות הנהוגות בשימור תנע בהתנגשות אלסטית לחלוטין על קו ישר הן:

$$m_1 V_1 + m_2 V_2 = m_1 U_1 + m_2 U_2$$

$$V_1 - V_2 = U_2 - U_1$$

לפני ההתנגשות

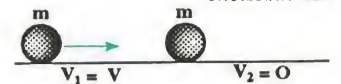


לאחר ההתנגשות

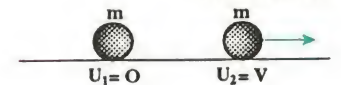


דוגמה 1

לפני ההתנגשות



לאחר ההתנגשות



דוגמה 2

לפני ההתנגשות



לאחר ההתנגשות



דוגמה 3

#### ציור 95:

שלוש דוגמאות של התנגשות אלסטית לחלוטין



9. מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלות פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש.מכ. ג.3 כדי להשוות את פתרון עם הפתרון הנכון.



מסה בת 3 ק"ג הנעה במהירות  $2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  בכיוון ימינה מתנגשת בהתנגשות אלסטית לחלוטין במסה אחרת הנמצאת במנוחה (ציור 96). מסתה אף היא 3 ק"ג. מהן מהירויות המסות לאחר ההתנגשות?

פתרון:

נתונים:

3 ק"ג  $m_1 =$  המסה הפוגעת

$2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} = V_1$  מהירות המסה הפוגעת לפני ההתנגשות

3 ק"ג  $m_2 =$  המסה הנפגעת

$V_2 = 0$  מהירות המסה הנפגעת לפני ההתנגשות

$U_1 = ?$  מהירות המסה הפוגעת לאחר ההתנגשות

$U_2 = ?$  מהירות המסה הנפגעת לאחר ההתנגשות

5. ההתנגשות היא \_\_\_\_\_ (פלסטית/אלסטית לחלוטין); לכן המשוואות שיש להשתמש בהן הן:

6.  $m_1 V_1 + m_2 \text{ --- } = m_1 U_1 + m_2 \text{ --- }$

7.  $V_1 - \text{ --- } = U_2 - \text{ --- }$

נציב את הנתונים לתוך המשוואות:

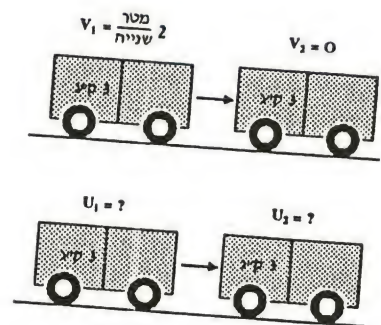
8.  $3 \cdot \text{ --- } + 0 = 3U_1 + \text{ --- } U_2$

9.  $2 = U_2 - \text{ --- }$

נצמצם את המשוואה הראשונה ב-3.  
המשוואות שנקבל הן:

$2 = U_1 + U_2$

$2 = -U_1 + U_2$



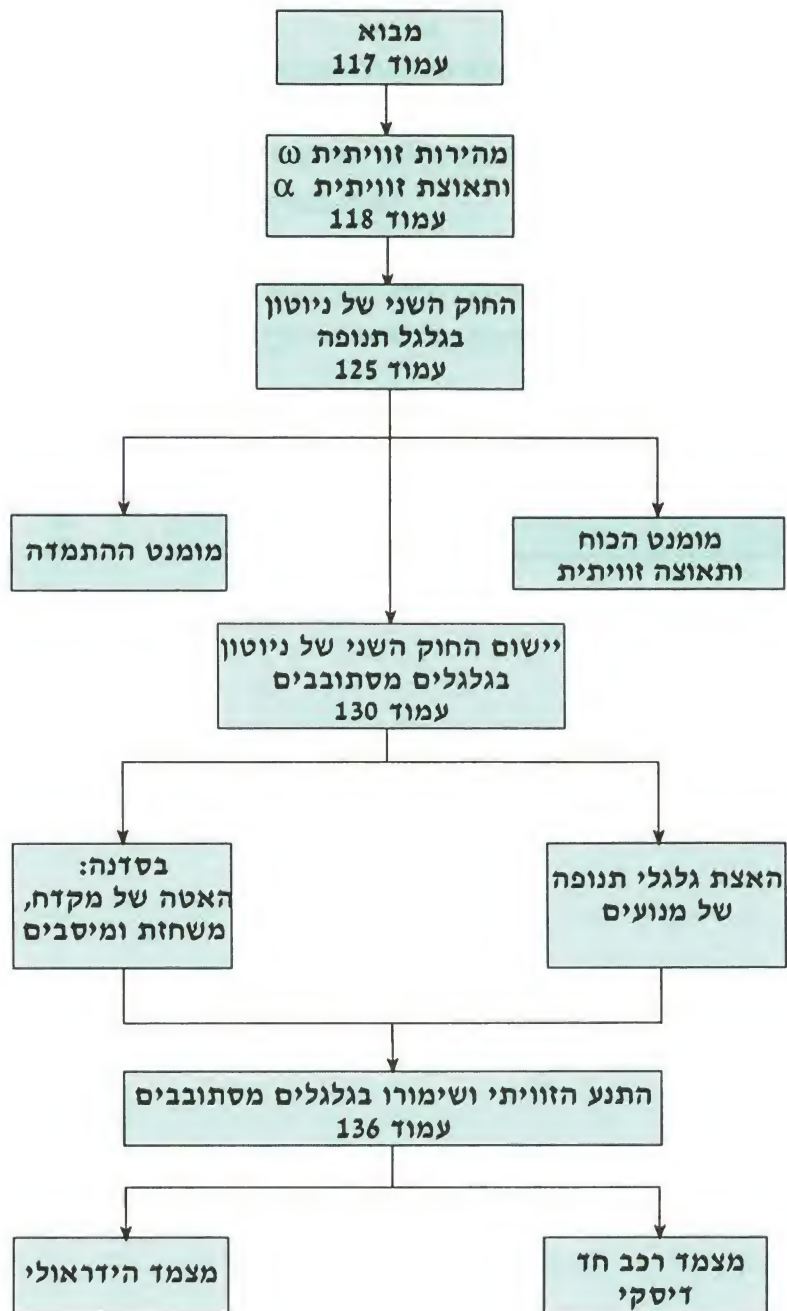
ציור 96:

מסה בת 3 ק"ג נעה במהירות  $2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  ומתנגשת התנגשות אלסטית לחלוטין במסה שווה לה הנמצאת במנוחה



## פרק 4: תנועת גלגלים מסתובבים

תרשים מהלך נושא הלימוד





עם סיום פרק זה אתה אמור:

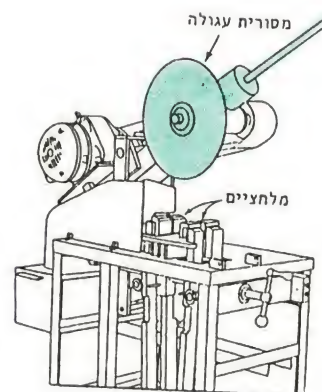
1. להכיר את המושגים: מומנט התמדה ( $I$ ), מומנט הכוח ( $M$ ) ותאוצה זוויתית ( $\alpha$ ).
2. לדעת כי גם בגלגלים מסתובבים קיים החוק השני של ניוטון.
3. לדעת כי החוק השני של ניוטון בגלגלים מסתובבים הוא
$$M = \alpha I$$
4. לדעת לחשב את מומנט ההתמדה של גלגלים או גלילים.
5. לדעת כיצד מופעלים מנועים בעזרת גלגלי תנופה.
6. להבין באופן פיסיקלי את פעולת ההאטה של המקדח והמשחזת בסדנה.
7. להכיר את המושג תנע זוויתי.
8. להכיר את חוק שימור התנע הזוויתי בהתנגשות פלסטית.
9. להבין באופן פיסיקלי את פעולת המצמד החד דיסקי.
10. להבין באופן פיסיקלי את פעולת המצמד ההידראולי.

עם סיום הפרק, חזור ובדוק אם מטרות אלו אמנם הושגו.



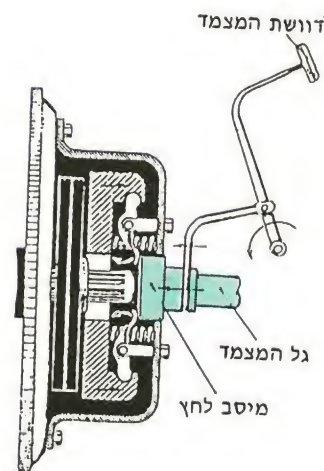
#### 4. א מבוא

1. מערכות פיסיקליות של גלגלים מסתובבים הן הנפוצות ביותר בעולם הטכנולוגי. אנו, אנשי המקצוע, עוסקים במתקנים הבנויים מגלגלים כאלו בכל אחד מהשלבים של עבודתנו. בסדנה פועלים בעזרת גלגלים מסתובבים מתקנים רבים: מחרטה, משחזת, מקדחה, כרסומת, מסור עגול (ציור 104) ועוד. מהי הסיבה שגורמת למכשירים אלו להסתובב? מהו החוק הפיסיקלי שקובע את הקשר בין תדירות הסיבוב של הגלגלים לבין הכוח שגורם לסיבוב? מצד שני, ברצוננו לדעת מהו התהליך הפיסיקלי שגורם לגלגלים אלו לעצור או להקטין את מהירותם ההיקפית.



ציור 104:  
תנועה סיבובית של מסור עגול

2. כמו כן מעניין אותנו לדעת מהו ההסבר הפיסיקלי להיצמדות שני גלגלי תנופה, כדוגמת המצמד במכונית (ציור 105). על כל אלה בפרק שלפנינו. לפני שנדון בהרחבה בנושאים אלו נביא פרק מכין המלמד כיצד להתייחס לתנועה הסיבובית של הגלגלים שבהם נטפל בהמשך.



ציור 105:  
מצמד מכונית

## ב.4 מהירות זוויתית $\omega$ ותאוצה זוויתית $\alpha$

1. בפרק 2 למדנו כי כאשר גוף מקיף מעגל בעל רדיוס  $R$  בזמן מחזור  $T$ , מהירותו ההיקפית היא:

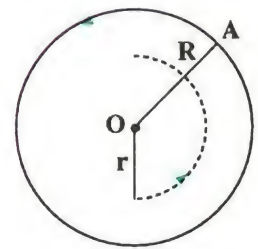
$$\begin{array}{ll} \text{א) } v_1 = \frac{2\pi R}{T} & \text{ב) } v_1 = 2\pi R T \\ \text{ג) } v_1 = \frac{T}{2\pi R} & \text{ד) } v_1 = \frac{2\pi R}{T} \end{array}$$

סמן בעיגול את התשובה הנכונה.

כאשר גלגל מסתובב סביב ציר סיבוב  $O$  (ציור 106) כל נקודה על ההיקף נעה **באותה** מהירות היקפית ( $v$  הקי) כמו גוף שנע על פני מעגל בעל אותו רדיוס ( $R$ ) באותו זמן מחזור ( $T$ ).

2. כאשר הנקודה נמצאת בשעת הסיבוב קרוב יותר למרכז המעגל, רדיוס הסיבוב  $r$  \_\_\_\_\_ (קטן/גדול) יותר מרדיוס הגלגל  $R$  (ציור 107).  
במצב זה המהירות ההיקפית  $v$  הקי \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה) יותר מהמהירות על ההיקף.

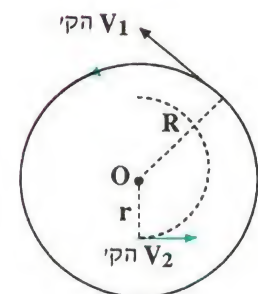
מהירות זו תהיה  $v_2 = \frac{2\pi r}{T}$ .  
המהירות ההיקפית הולכת וגדלה ככל ש \_\_\_\_\_ (מתרחקים מ/ מתקרבים אל) מרכז מעגל הסיבוב  $O$ .  
במילים אחרות: המהירות ההיקפית נמצאת ביחס \_\_\_\_\_ (ישר/ הפוך/יורד) למרחק ממרכז המעגל.



ציור 106:  
A - נקודה על גלגל מסתובב  
סביב ציר סיבוב העובר  
במאונך לגלגל בנקודה O

3.  $v_1 = \frac{2\pi R}{T}$  הקי. נחשב את היחס  $\frac{v_1}{R} = \frac{2\pi}{T}$  :  
 $v_2 = \frac{2\pi r}{T}$  הקי. באותו אופן היחס  $\frac{v_2}{r} = \frac{2\pi}{T}$  : נותן:  $\frac{v_2}{r} = \frac{2\pi}{T}$

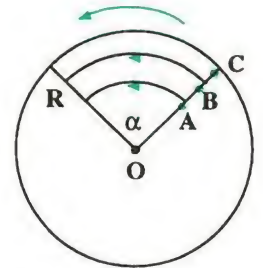
באופן כללי, היחס בין מהירות היקפית  $v$  הקי לבין רדיוס הסיבוב  $r$ , המתאים למהירות היקפית זו, שווה ל-  $\frac{2\pi}{T}$ .  
הגודל  $\frac{2\pi}{T}$  נקרא **מהירות זוויתית**  $\omega$ . הוא נקרא בשם זה, כי באותו זמן כל נקודה לאורך רדיוס הגלגל המסתובב, מבצעת אותה זווית (ציור 108). ( $\omega$  - היא האות היוונית אומגה).



ציור 107:  
לגבי גלגל מסתובב  
 $\frac{v}{r} = \frac{2\pi}{T}$

יחידות המהירות הזוויתית  $\omega$ :  
 $\omega$  הוא היחס שבין <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (התאוצה/המהירות) ההיקפית  $V$  הקי  
 שיחידותיה  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  ובין <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (הקוטר/המיתר/הרדיוס)  $r$   
 שהיחידה שלו מטר. לכן יחידת ה- $\omega$  תהיה:

$$\frac{\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}}{\text{מטר}} = \frac{1}{\text{שנייה}}$$



ציור 108:

תנועה של גלגל מסתובב.  
 נקודה A תבצע באותו זמן  
 אותה זווית  $\alpha$  כמו נקודה B.  
 לכל הנקודות לאורך הרדיוס  
 R אותה מהירות זוויתית

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$



נסכם:

א. מהירות זוויתית  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  היא היחס שבין המהירות ההיקפית  
 $V$  הקי המתאימה לרדיוס הסיבוב  $r$ .

$$\omega = \frac{V_{\text{הקי}}}{r}$$

ב. היחידה של  $\omega$  היא  $\frac{1}{\text{שנייה}}$ .

ג. המהירות ההיקפית  $V$  הקי היא מהירות של נקודה על פני  
 המעגל, כלומר אורך הקשת שהיא עושה בשנייה.

ד. מהירות זוויתית היא הזווית שעושה (מטאטא) רדיוס בשנייה  
 אחת.

4. מהי המהירות הזוויתית  $\omega$  של גלגל המסתובב במשך זמן מחזור של  
 $\frac{1}{2}$  שנייה?

$$\omega = \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} \quad 3$$

$$\omega = \frac{1}{\text{שנייה}} 4\pi$$



5. את הביטוי  $\omega = \frac{2\pi}{T}$  אפשר לרשום גם בצורה  $\omega = 2\pi \cdot \frac{1}{T}$ . למדנו כי  $\frac{1}{T} = f$  (תדירות שווה לערך הפוך של זמן המחזור).

לכן אפשר לרשום:

$$1) \quad \omega = \frac{2\pi}{f} \quad 2) \quad \omega = \frac{f}{2\pi} \quad 3) \quad \omega = 2\pi f \quad 4) \quad \omega = \frac{1}{2\pi f} \quad \left. \vphantom{\frac{1}{2\pi f}} \right\} \textcircled{1}$$

סמן במעגל את התשובה הנכונה.

6. מהי המהירות הזוויתית  $\omega$  של גלגל המסתובב בתדירות של 3000 סל"ד?

נזכור כי:  $n = 60f$  (מספר הסיבובים בסל"ד שווה שישים פעם התדירות ב-  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$ ).

$$f = \frac{n}{60} = \frac{3000}{\boxed{\phantom{000}}} = \text{הרץ } \boxed{\phantom{000}} \quad \textcircled{2}$$

$$\omega = 2\pi f$$

$$\omega = \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} \quad \textcircled{3}$$

$$\omega = \frac{1}{\text{שנייה}} 314$$

לכל נקודה על הגלגל המסתובב בתדירות קבועה של 3000 סל"ד יש מהירות זוויתית של  $\omega = \frac{1}{\text{שנייה}} 314$ .

7. מהי המהירות ההיקפית של נקודה על הגלגל הנ"ל אם היא נמצאת במרחק 40 ס"מ ממרכז הגלגל (ציור 109)?

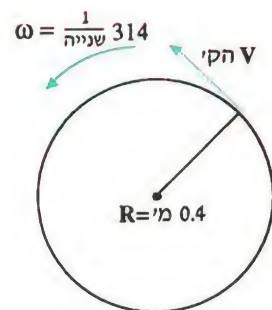
פתרון:

נתונים:

$$\omega = \frac{1}{\text{שנייה}} 314 \quad \text{מהירות זוויתית}$$

$$\text{מטר } = 40 \text{ ס"מ} = R \quad \text{רדיוס הסיבוב} \quad \boxed{\phantom{000}} \quad 4$$

$$V = ? \quad \text{מהירות היקפית}$$



ציור 109:

המהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על היקף גלגל בעל רדיוס  $R = 0.4$  מ', המהירות הזוויתית  $314 \frac{1}{\text{שנייה}}$

$$\omega = \frac{V_{\text{הק'}}}{R} \quad \text{הגדרת } \omega \text{ הייתה:}$$

$$V_{\text{הק'}} = \omega \cdot R \quad \text{לכן:}$$

$$V_{\text{הק'}} = \boxed{\phantom{0.4}} \quad 0.4 \quad \text{1 כלומר:}$$

$$V_{\text{הק'}} = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}} \boxed{\phantom{0.4}} \quad 2$$

$$V_{\text{הק'}} = \omega \cdot R \quad \text{נסכם:}$$



### 8. תאוצה זוויתית

כאשר גלגל מסתובב יותר ויותר מהר המשמעות היא שהמהירות הזוויתית שלו הולכת <sup>3</sup> (וגדלה/וקטנה).

כאשר תדירות הסיבוב היא  $f_1$  הרי המהירות הזוויתית  $\omega_1$ , כלומר <sup>4</sup> (הזווית/המשיק/המיתר) שעושה (מטאטא) הרדיוס

$$\omega_1 = 2\pi f_1 \quad \text{במשך שנייה אחת, היא}$$

אם במשך זמן  $\Delta t$  התדירות גדלה ל- $f_2$ , נקבל מהירות זוויתית <sup>5</sup> (גדולה/קטנה) יותר, שהיא:  $\omega_2 = 2\pi f_2$ .

אנו אומרים שבפרק הזמן  $\Delta t$  הייתה התאוצה הזוויתית הממוצעת  $\alpha$ . התאוצה הזוויתית תוגדר כמו תאוצה קווית, כלומר:

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$$

$$(a = \frac{V_2 - V_1}{\Delta t} \text{ בדומה ל-})$$

לדוגמה: תדירות סיבוב של גלגל היא  $f_1 = 6$  סיבובים/שנייה

במשך זמן  $\Delta t$  של 3 שניות התדירות גדלה ל-18 סיבובים/שנייה,  $f_2 = 18$  מהי

התאוצה הזוויתית הממוצעת  $\alpha$  של הגלגל?

$$f_1 = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} \quad 6$$

$$f_2 = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} \quad 18$$

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$$

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f$$

פתרון:

$$\omega_1 = 2\pi \cdot f_1 = 2 \cdot 3.14 \cdot \underline{\hspace{2cm}} \quad 1$$

$$\omega_2 = 2\pi \cdot f_2 = 2 \cdot \underline{\hspace{2cm}} \cdot \underline{\hspace{2cm}} \quad 2$$

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \underline{\hspace{2cm}}}{\Delta t} \quad 3$$

$$\alpha = \frac{\underline{\hspace{2cm}} - \underline{\hspace{2cm}}}{\underline{\hspace{2cm}}} \quad 4$$

$$\alpha = \frac{1}{\frac{\text{שנייה}}{25.12}} \cdot \frac{\text{שנייה}}{\text{שנייה}}$$

מכאן מתקבל שהיחידה של התאוצה הזוויתית  $\alpha$  היא  $\frac{1}{\text{שנייה}^2}$ .

נסכם:

א. תאוצה זוויתית ממוצעת  $\alpha$  היא שינוי המהירות הזוויתית במשך שנייה  $\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$

ב. יחידת התאוצה הזוויתית  $\alpha$  היא  $\frac{1}{\text{שנייה}^2}$ .



9. לכל נקודה הנמצאת לאורך רדיוס גלגל המסתובב בתאוצה זוויתית יש תאוצה היקפית. כלומר המהירות ההיקפית של הנקודה גדלה (ציור 110).

נרשום את הנוסחה של  $\alpha$  ונכפיל אותה בשני אגפיה ב-R.

$$\alpha \cdot R = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t} \cdot R$$

$$\alpha \cdot R = \frac{\omega_2 R - \omega_1 R}{\Delta t} \quad \text{נקבל:}$$

בסעיף הקודם ראינו ש- $\omega R = v_{\text{הק'}}$  לכן נקבל:

$$\alpha \cdot R = \frac{v_{2\text{הק'}} - v_{1\text{הק'}}}{\Delta t}$$

**באגף ימין** רשומה תאוצה של נקודה על היקף המעגל במרחק  $R$  מרכז. לכן נקבל:

$$a = \alpha R$$

שים לב כי התאוצה  $a$  היא תאוצה **בכיוון** מסלול המעגל (ולא אל המרכז). זוהי **תאוצה היקפית**  $a$  הקי.

כלומר זאת תאוצה הגורמת להגברת גודל המהירות של הנקודה הנמצאת על היקף המעגל.

להזכירכם, בפרק 2.2 ראינו שישנה תאוצה נוספת הפועלת על גוף הנע בתנועה מעגלית קצובה, הנגרמת כתוצאה משינוי כיוון המהירות והנקראת תאוצה רדיאלית (בכיוון מרכז המעגל) ושווה  $a_R = \frac{V^2}{R}$ .

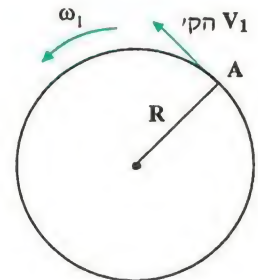
**10.** מהי התאוצה ההיקפית של נקודה הנמצאת במרחק של 10 ס"מ מהמרכז אם התאוצה הזוויתית שלה 25.12  $\frac{1}{\text{שנייה}^2}$ ?

**פתרון:**

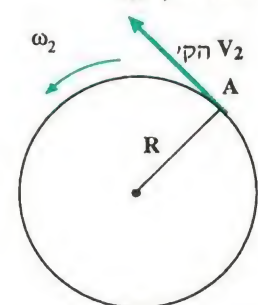
$$a = \alpha R$$

$$a = 25.12 \times 0.1 = \frac{2.512}{\text{שנייה}^2} \text{ מטר}$$

בתחילה



לאחר זמן  $\Delta t$



**ציור 110:**

לנקודה על המסלול  
מהירות היקפית  $V_1 = \omega_1 R$   
לאחר זמן  $\Delta t$  המהירות  
ההיקפית גדלה  
ל-  $V_2 = \omega_2 R$   
לנקודה A יש תאוצה  
היקפית  $a$  הקי

**נסכם:**

- התאוצה ההיקפית  $a$  הקי של נקודה הנמצאת במרחק  $R$  ממרכז סיבוב שווה ל-  $a = \alpha R$  הקי.
- התאוצה ההיקפית גורמת לנקודה על היקף המעגל לנוע במהירות היקפית גדולה יותר.





11. גלגל מסתובב בתדירות של 1500 סל"ד. התדירות גדלה תוך 10 שניות ל-3000 סל"ד. מהי התאוצה הזוויתית  $\alpha$ ?

פתרון:

נתונים:

1 \_\_\_\_\_ הרץ  $f_1 =$  \_\_\_\_\_ סל"ד  $n_1 =$  תדירות התחלתית

2 \_\_\_\_\_ הרץ  $f_2 =$  \_\_\_\_\_ סל"ד  $n_2 =$  תדירות סופית

3 \_\_\_\_\_ שניות  $\Delta t =$  זמן שינוי התדירות

?  $\alpha =$  תאוצה זוויתית

$$\alpha = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{2\pi f_2 - 2\pi f_1}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{2\pi \cdot (f_2 - f_1)}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2\pi \cdot (f_2 - f_1)}{\Delta t} = \frac{f_2 - f_1}{\Delta t}$$

מהי התאוצה ההיקפית של נקודה הנמצאת על קצה גלגל שרדיוסו 20 ס"מ?

פתרון:

נתונים:

$$\alpha = \frac{1}{2\pi} \cdot \frac{2\pi \cdot (f_2 - f_1)}{\Delta t} = \frac{f_2 - f_1}{\Delta t}$$

$$7 \text{ מטר} = 20 \text{ ס"מ} = R \text{ רדיוס הגלגל}$$

?  $a =$  הקי' תאוצה היקפית

$$a = \alpha R$$

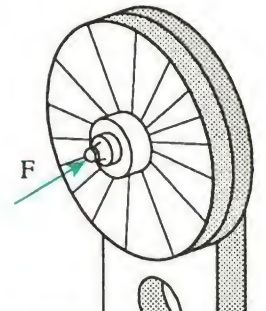
$$8 \text{ מטר} = 20 \text{ ס"מ} = R$$

$$a = \frac{3.14}{2\pi} \cdot \frac{2\pi \cdot (f_2 - f_1)}{\Delta t} = \frac{f_2 - f_1}{\Delta t} \cdot R$$

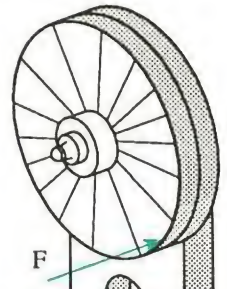
## ג.4 החוק השני של ניוטון בגלגל תנופה



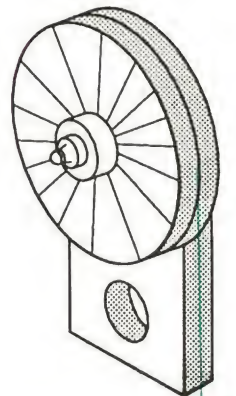
מכ' 46



א. כוח הפועל על מרכז הגלגל



ב. כוח הפועל על היקף הגלגל במאונך למישור הגלגל



ג. כוח F הפועל במישור הגלגל על היקפו ובמאונך לרדיוס בקצהו. הכוח F משיק למעגל הכוח M, גורם למומנט כוח M,  $M = F \cdot R$

ציור 111



1. נתון גלגל בעל ציר סיבוב העובר במרכזו הנמצא במנוחה. ננסה לסובב אותו (ציור 111, ניסוי מכ' 46).

א. נפעיל כוח בעזרת האצבע דרך מרכז הגלגל. האם הגלגל יסתובב? \_\_\_\_\_ (כן/לא).<sup>1</sup>

ב. נפעיל אותו כוח על נקודה המרוחקת מהמרכז (למשל על ההיקף) במאונך לגלגל. האם הגלגל יסתובב? \_\_\_\_\_ (כן/לא)?<sup>2</sup>

ג. נפעיל עתה את הכוח במאונך לרדיוס הגלגל. האם הגלגל יסתובב? \_\_\_\_\_ (כן/לא).<sup>3</sup>

ד. כיוון הכוח במקרה ג' הוא \_\_\_\_\_ (מקביל/מאונך/באלכסון) לרדיוס הגלגל. קו זה הוא המשיק למעגל.

משיק למעגל הוא אנך לרדיוסו בקצה המעגל. מסקנת הניסוי היא: כדי שכוח יגרום לסיבוב עליו לפעול בכיוון המשיק לגלגל.

2. על הגלגל שעליו דיברנו בסעיף הקודם פועל כוח של 20 ניוטון. כוח זה פועל בכיוון המשיק למעגל, כלומר פועל בכיוון \_\_\_\_\_ (מקביל/מאונך/אלכסוני) לרדיוס.<sup>5</sup>

ציר הסיבוב של הגלגל עובר דרך \_\_\_\_\_ (מרכז/היקפו).<sup>6</sup> רדיוס הגלגל הוא 0.1 מטר. הרדיוס נקרא בשם זרוע הכוח.

זרוע הכוח הוא המרחק האנכי מציר הסיבוב 0 לכיוון הכוח. כאשר כוח גורם לסיבוב הוא יוצר מומנט כוח.

3. מומנט כוח M - שווה למכפלת הכוח F בזרוע R.

$$M = F \cdot R$$

חשב את מומנט הכוח בדוגמה שלנו?

$$M = 20 \cdot \text{_____}^7$$

$$M = \text{מטר} \cdot \text{ניוטון} \cdot 2$$

### נסכם:

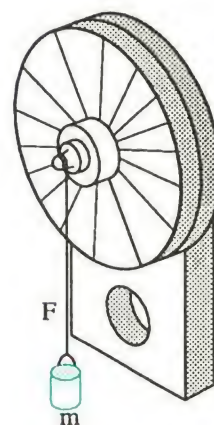
א. כוח F הפועל בכיוון המשיק לגלגל יוצר מומנט M.  $M = F \cdot R$  (R רדיוס הגלגל).

ב. יחידת המומנט M היא ניוטון · מטר.

4. ניקח גלגל ונתלה אותו על ציר סיבוב. נלפף חוט על ידית הגלגל ונתלה בקצהו מסה (ציור 112). נשחרר את המסה, ניסוי 47. על המסה פועל כוח <sup>1</sup>\_\_\_\_\_ (החיכוך/הכובד) והיא מושכת איתה את החבל המסובב את הגלגל. הכוח שפועל על ידית הגלגל יוצר מומנט <sup>2</sup>\_\_\_\_\_  $(F/M)$ .  
 הגלגל היה בתחילה במצב של <sup>3</sup>\_\_\_\_\_ (תנועה סיבובית מנוחה) והוא עובר <sup>4</sup>\_\_\_\_\_ (מיד/בהדרגה) למהירות <sup>5</sup>\_\_\_\_\_ (היקפית/זוויתית) סופית  $\omega$ .  
 המהירות הזוויתית ההתחלתית הייתה <sup>6</sup>\_\_\_\_\_  $(\omega/0/\omega_0)$  ולכן נוצר <sup>7</sup>\_\_\_\_\_ שינוי במהירות הזוויתית. מסקנה - מומנט הכוח  $M$  גרם ל <sup>7</sup>\_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצה) זוויתית  $\alpha$ .



מכ' 47



ציור 112:

החבל מפעיל כוח  $F$  ויוצר מומנט כוח  $F \cdot R$  על הגלגל. המומנט גורם לו תאוצה זוויתית  $\alpha$ .

מומנט הכוח  $M$  יוצר תאוצה זוויתית  $\alpha$ .

5. בפרק הראשון של חוברת זאת ראינו שכאשר גוף נע בקו ישר קיים יחס ישר בין הכוח השקול הפועל עליו  $F$  ל <sup>8</sup>\_\_\_\_\_ (מהירות/תאוצה)  $a$ , כך ש:

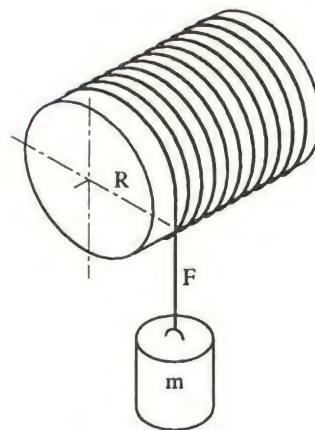
$$\frac{F}{a} = m$$

$m$  היא <sup>9</sup>\_\_\_\_\_ (המסה/המשקל/הנפח/שטח הפנים) של הגוף.

באופן השוואתי מצאו כי קיים גם יחס ישר בין מומנט הכוח  $M$  ובין התאוצה הזוויתית <sup>10</sup>\_\_\_\_\_  $(\gamma/\beta/\alpha)$ .

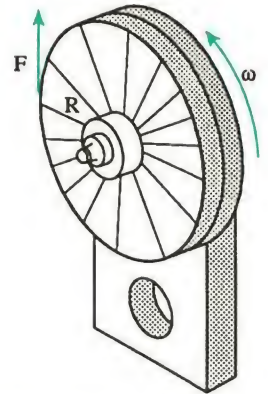
$$\frac{M}{\alpha} = I \quad \text{כלומר}$$

הגורם  $I$  נקרא בשם מומנט ההתמדה של הגוף המסתובב.



מומנט ההתמדה  $I$  הוא היחס בין מומנט הכוח  $M$  שפועל על גוף המסתובב סביב ציר סיבוב, לבין תאוצתו הזוויתית  $\alpha$ .





ציור 113:

שינוי ממצב התמדתי של תנועה.  
כוח F משנה את מהירותו של גוף.  
מומנט הכוח  $M = F \cdot R$   
משנה את מהירותו הסיבובית  $\omega$



6. המסה ומומנט ההתמדה מתארים את מידת ההתמדה של גוף, כלומר, את נטייתו של הגוף להישאר באותו מצב.

מסה במנוחה מתארת את ההתמדה של גוף להישאר במצב מנוחה ולא לעבור למצב של תנועה בקו ישר.

מומנט התמדה מתאר את נטיית ההתמדה של גוף בעל ציר סיבוב להישאר במצב מנוחה ולא לעבור לתנועה <sup>1</sup> (בקו ישר/ סיבובית). אם גוף נמצא במצב של תנועה במהירות קבועה, המסה שואפת להישאר במצב זה. ככל שהמסה גדולה יותר, כך דרוש כוח <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (גדול/קטן) יותר לעצירתה באותו מרווח זמן.

בגלגלים מסתובבים, שואף הגלגל להישאר במהירות זוויתית  $\omega$  קבועה. ככל שמומנט ההתמדה של הגלגל גדול יותר כך מומנט הכוח הדרוש לעצירתו באותו מרווח זמן <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (גדול/קטן) יותר.

הקרון את חלקו התחתון של שקף מספר 30 מסדרת השקפים של המכון לאמצעי הוראה מא"ה, פרק ב' מכניקה. לפניך שני גלגלי תנופה. את האחד "קל לעצור" ואת השני "קשה לעצור". מדוע?

\_\_\_\_\_ <sup>4</sup>

על הגלגל השמאלי, שהוא בעל מומנט התמדה גדול יותר, יש להפעיל מומנט כוח <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (גדול/קטן) יותר.

7. את יחידת מומנט ההתמדה I נוכל למצוא בעזרת הנוסחה שקיבלנו עתה:  $I = \frac{M}{\alpha}$ .

מהנוסחה נובע כי היחידה של I היא <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (היחס שבין/ המכפלה של) יחידת מומנט הכוח M והתאוצה הזוויתית  $\alpha$ .

$$[I] = \frac{[M]}{[\alpha]} \quad \text{או:}$$

היחידה של מומנט הכוח M היא ניוטון · מטר.

יחידת התאוצה הזוויתית  $\alpha$  היא  $\frac{1}{\text{שנייה}^2}$ .

לכן יחידת מומנט ההתמדה I היא (קרא משמאל לימין):

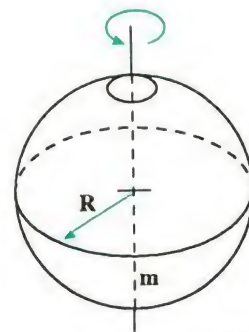
$$\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}^2}{\text{ק"ג}} = \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2} \cdot \frac{\text{ניוטון} \cdot \text{מטר}}{1}$$

$$\text{שהרי: } 1 \text{ ניוטון} = 1 \text{ ק"ג} \cdot \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$$

יחידת מומנט ההתמדה I היא: ק"ג · מטר<sup>2</sup>.

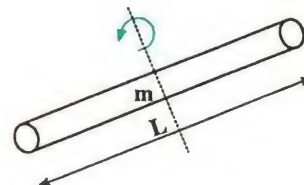






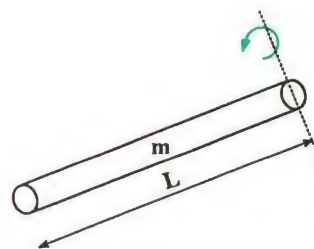
ציור 114:

מומנט ההתמדה I של כדור  
מלא המסתובב סביב קוטרו  
הוא  $I = \frac{2}{5} mR^2$   
m - מסת הכדור  
R - רדיוס הכדור



ציור 115 א':

מומנט ההתמדה I של מוט סביב  
ציר סיבוב העובר דרך מרכזו  
ובמאונך לו,  $I = \frac{1}{12} mL^2$   
L - אורך המוט



ציור 115 ב':

מומנט ההתמדה I של מוט  
סביב ציר סיבוב העובר בקצהו  
של המוט במאונך לו,  
 $I = \frac{1}{3} mL^2$



8.

מסה m מתארת את ההתמדה של גוף לנוע במהירות <sup>1</sup> \_\_\_\_\_  
(משתנה/קבועה) בקו <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (עקום/מעגלי/ישר).  
מומנט ההתמדה I מתאר את ההתמדה של גוף להסתובב במהירות <sup>3</sup> \_\_\_\_\_  
(זוויתית/בקו ישר) קבועה.  
מה ערכו של מומנט ההתמדה של דיסקה? האם למבנה הגיאומטרי  
של גוף מסתובב יש השפעה על מומנט ההתמדה שלו? האם מקומו  
של ציר הסיבוב משפיע על מומנט ההתמדה?

9.

יחידת מומנט ההתמדה I היא: <sup>4</sup> \_\_\_\_\_  
(ק"ג · מט<sup>2</sup>). יחידת הק"ג מורה כי מומנט ההתמדה I של גופים  
תלוי ב <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (מסתם/נפחם/שטח פניהם).  
יחידת המטר<sup>2</sup> מורה כי מומנט ההתמדה <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (R/α/I/m) תלוי  
בריבוע האורך המאפיין את הגוף המסתובב. חישובים מראים  
שמומנט ההתמדה I של כדור מלא המסתובב סביב ציר סיבוב העובר  
דרך הקוטרו הוא  $\frac{2}{5} mR^2$  (ציור 114).  
m הוא <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (נפח/משקל סגולי/מסה) של הכדור ו-R רדיוסו.  
מומנט ההתמדה של מוט דקיק שאורכו L כאשר הוא מסתובב סביב  
ציר העובר במרכז המוט ובמאונך לו שווה ל-  $\frac{1}{12} mL^2$  (ציור 115 א').  
האורך המאפיין את המוט הוא <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (עוביו/היקפו/אורכו) L.  
כאשר ציר הסיבוב עובר דרך נקודה אחרת לאורך המוט (לדוגמה:  
בקצהו) - מומנט ההתמדה מקבל **ערך אחר** (ציור 115 ב'), במקרה זה  
 $I = \frac{1}{3} mL^2$ .  
מכאן, שגודל מומנט ההתמדה I תלוי במיקומו של ציר הסיבוב.

**נסכם:**

- גודלו של מומנט ההתמדה של גוף תלוי במיקומו של ציר הסיבוב.
- מומנט ההתמדה של גוף תלוי במסתו m ובאורך המאפיין אותו.

10. בגלגלים מסתובבים ציר הסיבוב עובר דרך \_\_\_\_\_<sup>1</sup> (מרכז/היקף) הגלגל. לגלגל בעל רדיוס  $R$  ומסה  $m$  יש מומנט ההתמדה  $I$  שגודלו:  $I = \frac{1}{2} mR^2$  (ציור 116).  
 האורך המאפיין את מומנט ההתמדה של דיסקה הוא \_\_\_\_\_<sup>2</sup> (היקפה/קוטרה/רדיוסה)  $R$ .  
 נמצא את מומנט ההתמדה של משחז שרדיוסו 20 ס"מ ומסתו 2 ק"ג.

פתרון:

נתונים:

$$m = 2 \text{ ק"ג} \quad \text{מסת הגלגל}$$

$$R = 20 \text{ ס"מ} = 0.2 \text{ מטר} \quad \text{רדיוס הגלגל} \quad 3$$

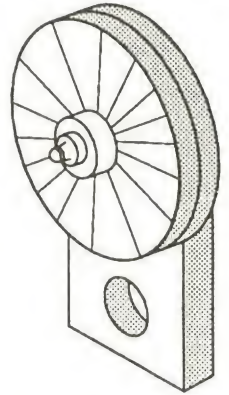
$$I = ?$$

$$I = \frac{1}{2} mR^2 \quad 4$$

$$I = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 0.2^2 \quad 5$$

$$I = 0.04 \text{ ק"ג} \cdot \text{מטר}^2$$

$$\frac{1}{2} mR^2$$



ציור 116:

מומנט ההתמדה  $I$  של גלגל המסתובב סביב ציר העובר במרכז ובמאונך לו שווה ל- $\frac{1}{2} mR^2$

נסכם:

- א. מומנט ההתמדה  $I$  של כדור מלא המסתובב סביב קוטרו שווה ל-  

$$I = \frac{2}{5} mR^2$$

$m$  - מסת הכדור;  $R$  - רדיוסו.

- ב. מומנט ההתמדה  $I$  של מוט סביב ציר סיבוב העובר דרך מרכזו ובמאונך לו שווה ל-  

$$I = \frac{1}{12} mL^2$$

$m$  - מסת המוט;  $L$  - אורכו.

- ג. מומנט ההתמדה  $I$  של גלגל המסתובב סביב ציר סיבוב העובר במרכזו ובמאונך לו שווה ל-  

$$I = \frac{1}{2} mR^2$$

$m$  - מסת הגלגל;  $R$  - רדיוסו.

- ד. יחידת מומנט ההתמדה היא ק"ג · מטר<sup>2</sup>.

- ה. מומנט הכוח  $M$  שווה למכפלת מומנט ההתמדה  $I$  בתאוצה הזוויתית  $\alpha$ .

$$M = \alpha I$$



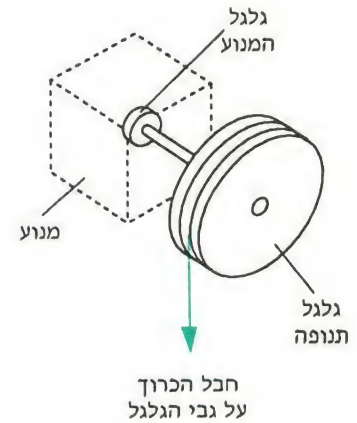
## ד.4 יישום החוק השני של ניוטון בגלגלים מסתובבים

### האצת גלגלי תנופה

1. גלגלי תנופה הם גלגלים הצמודים למנוע של מכשירים בעזרת ציר סיבוב משותף. מנועים מסוגים שונים, כמו זה המצוי במכסחת דשא וכן בגנרטור לשימוש ביתי, יש להפעיל על ידי משיכה בחבל של גלגל התנופה.

סיבובו של גלגל התנופה נוצר על ידי כוח חיצוני שנגרם כתוצאה ממשיכת החבל הכרוך על גבי הגלגל (ציור 117).

המהירות הזוויתית  $\omega$  של גלגל התנופה ומומנט ההתמדה שלו  $I$  גורמים להנעת המנוע שמחובר כאמור בציר משותף לגלגלי המנוע.



ציור 117:

גלגל תנופה מחובר באמצעות ציר משותף למנוע

2. מסתו של גלגל התנופה של גנרטור היא 20 ק"ג ורדיוסו 0.3 מ'. החבל הכרוך על גבי הגלגל גורם תוך 5 שניות לסיבובו בתדירות של 300 סל"ד (ציור 118).

מה הכוח שהופעל על החבל הכרוך על גבי גלגל התנופה?

### פתרון:

לפי החוק השני של ניוטון לגבי גופים מסתובבים, מומנט הכוח  $M = F \cdot R$  שווה למכפלת מומנט ההתמדה בתאוצה הזוויתית של הגוף המסתובב

$$M = I \cdot \alpha$$

$$F \cdot R = I \cdot \alpha$$

או:

כדי לחשב את  $F$  עלינו לחשב את מומנט ההתמדה  $I$  של הדיסקה ואת התאוצה הזוויתית  $\alpha$ .

נחשב תחילה את  $I$ :

נתונים:

מסת גלגל התנופה	$m = 20$ ק"ג
רדיוס גלגל התנופה	$R = 0.5$ מ'

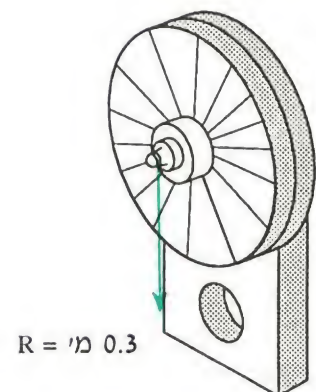
$$I = ? \quad \text{מומנט ההתמדה}$$

$$\textcircled{1} \quad I = \frac{1}{2} \text{ --- } R^2$$

$$2 \quad I = \frac{1}{2} \cdot 20 \cdot \text{ --- }^2$$

$$I = 2.5 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2$$

$m = 20$  ק"ג



ציור 118:

גלגל תנופה בעל מסה של 20 ק"ג ורדיוס 0.3 מטר מגיע תוך 5 שניות לסיבוב בתדירות 300 סל"ד

נחשב את התאוצה הזוויתית  $\alpha$ .

א. המהירות הזוויתית ההתחלתית  $\omega_0$  הייתה 0.

ב. המהירות הזוויתית הסופית היא  $\omega = 2\pi f$ .

נתונים:

מהירות זוויתית ראשונית  $\omega_0 = 0$

$$n = \frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}} \quad / \quad f = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} \quad \textcircled{1}$$

$$\Delta t = \text{שניות} \quad \text{זמן סיבוב הגלגל} \quad 2$$

תאוצה זוויתית  $\alpha = ?$

$$\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$$

$$\alpha = \frac{2\pi f - \text{---}}{\Delta t} \quad \textcircled{3}$$

$$\alpha = \frac{2 \cdot \text{---} \cdot \text{---}}{\text{---}} \quad 4$$

$$\alpha = \frac{1}{\text{שנייה}^2} \cdot 6.25$$

נציב את התוצאות בנוסחה ההתחלתית  $F \cdot R = I \cdot \alpha$ .

נתונים:

מומנט ההתמדה  $I = 2.5 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2$

תאוצה זוויתית  $\alpha = \frac{\text{רדיאן}}{\text{שנייה}^2}$

רדיוס הגלגל  $R = 0.5 \text{ מטר}$

כוח המאונך לרדיוס הגלגל  $F = ?$

$$F = \frac{I\alpha}{R}$$

$$F = \frac{\text{---} \cdot \text{---}}{\text{---}} \quad 5$$

$$F = 31.4 \text{ ניוטון}$$



3.

כדי למנוע זיהום אוויר, נעים האוטובוסים הפנימיים באתרי נופש בעזרת אנרגיה הנאגרת בגלגל תנופה (ציור 119).

גלגל התנופה, שהוא בעל מומנט התמדה גדול, מסתובב במהירות זוויתית גבוהה ומפעיל עקב כך את מנוע האוטובוס.

לגלגל התנופה יש מנוע חשמלי המתחבר בתחנה למקור זרם חשמלי. המנוע מסובב את גלגל התנופה הגדול הצמוד לאוטובוס וכך משיג האוטובוס את שיא מהירותו הזוויתית.

נתון כי גלגל התנופה של האוטובוס המתואר לעיל הוא בקוטר 1.8 מטר, ומסתו היא 1 טון, ותדירותו המירבית היא 3000 סיבובים/דקה. מהו הכוח שמפעיל המנוע החשמלי על הרצועה המושכת את גלגל התנופה אם האוטובוס שוהה בתחנה דקה אחת, בהנחה שהמהירות הזוויתית ההתחלתית של גלגל התנופה היא אפס?



ציור 119:  
אוטובוס הפועל בעזרת גלגל תנופה

פתרון:

תרגיל זה דומה לתרגיל שפתרנו בסעיף 2.  
נפתור אותו על כן באותה שיטה.

נתונים:

מסת גלגל התנופה  $m =$    1

רדיוס גלגל התנופה  $R =$    2

$W_0 = 0$  מהירות זוויתית ראשונית

תדירות סופית  $n = \frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}} = \frac{3000}{f} = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  3

זמן פעולת המנוע  $\Delta t =$  שניות 4

$F = ?$  כוח המנוע החשמלי

4

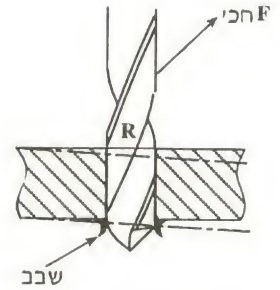
התשובה הסופית היא:  $750\pi$  ניוטון או 2355 ניוטון.

#### 4. בסדנה: האטה של מהירות זוויתית של מקדח ומשחזת.

כשם שמומנט כוח גורם להאצה זוויתית של גלגל תנופה, כך הוא יכול גם לגרום להאטת מהירותו הזוויתית. ההאטה נגרמת על ידי הפעלת כוח בכיוון מנוגד לכיוון סיבוב הגלגל (ציור 120). דוגמה לכך היא האטת מהירות זוויתית של מקדחה. כאשר מפסיקים את פעולת המנוע, המהירות הזוויתית  $\omega$  של הלהב הולכת <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (וקטנה/וגדלה). הכוח הגורם להאטת הלהב נובע מפעולת הגומלין בינו ובין הגוש שבו הוא קודח.

הכוח הגורם להאטה הוא כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  הפועל <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (לאורך הרדיוס של ה- / בכיוון המשיק ל) להב. מומנט הכוח  $M$  הוא <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (המכפלה/החילוק) של כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  ברדיוס גליל

הלהב  $R$  <sup>4</sup> \_\_\_\_\_  $(\frac{R}{R_{\text{חכ}}} \cdot \frac{F_{\text{חכ}}}{R})$ . מומנט זה לפי החוק השני של ניוטון שווה ל <sup>5</sup> \_\_\_\_\_  $(I \alpha / \frac{1}{\alpha} / \frac{\alpha}{I})$ , כלומר למכפלת מומנט ההתמדה של הלהב  $I$  בתאוצה הזוויתית  $\alpha$ . התאוצה הזוויתית  $\alpha$ , סימנה שלילי והיא <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ (מגדילה / מקטינה) את המהירות הזוויתית  $\omega$  עד עצירת סיבובו של להב המקדח.



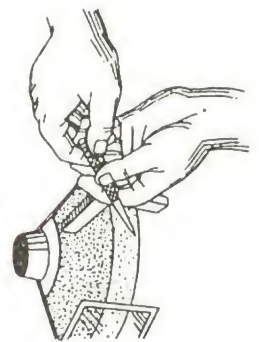
ציור 120:

כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$  בין הגוש הקדח ובין הלהב יוצר מומנט כוח  $R \cdot F_{\text{חכ}}$  המקטין את המהירות הזוויתית של הלהב

#### 5. גם באבן משחזת מתקיימת פעולת האטה של גלגל האבן. הכוח $F$

שנוצר בגלל לחץ הסכין על האבן המשחזת (ציור 121) פועל בכיוון מרכז גלגל האבן המשחזת. הוא יוצר כוח חיכוך  $F_{\text{חכ}}$  הפועל <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (במקביל/במאונך) לרדיוס הגלגל  $R$ . <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ מומנט הכוח המאט את המהירות ה- \_\_\_\_\_ (קווית/זוויתית) נוצר בגלל כוח החיכוך  $F_{\text{חכ}}$ .

מומנט הכוח  $R \cdot F_{\text{חכ}}$  שווה למכפלת מומנט ההתמדה  $I$  של הדיסקה בתאוצה <sup>9</sup> \_\_\_\_\_ (הקווית/הזוויתית)  $\alpha$ . התאוצה <sup>10</sup> \_\_\_\_\_ (הקווית/הזוויתית) <sup>11</sup> \_\_\_\_\_ (החיובית / השלילית)  $\alpha$  <sup>12</sup> \_\_\_\_\_ (מקטינה/מגדילה) את המהירות הזוויתית של המשחז.



ציור 121:

האטה של המהירות הזוויתית של אבן משחזת כתוצאה מפעולת מומנט הכוח  $R \cdot F_{\text{חכ}}$

מלא את המשימה שלפניך. אחרי שענית על השאלות פנה למורה לקבלת שקף בקרה ש.מ.כ. 4 כדי להשוות את פתרון עם הפתרון הנכון.

6.



אבן משחזת שמסתה 3 ק"ג ורדיוסה 20 ס"מ נעצרת במשך 5 שניות כאשר מופעל עליה כוח חיכוך של 9.42 ניוטון (ציור 122). מהי התדירות בסל"ד של אבן המשחזת לפני הפעלת הכוח?

פתרון:

נתונים:

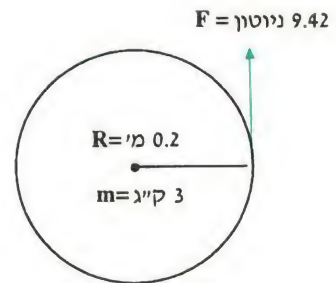
1  $m = 3 \text{ ק"ג}$  מסת גלגל אבן המשחזת

2  $R = 0.2 \text{ מטר}$  רדיוס הגלגל

3  $\Delta t =$  זמן עצירת הגלגל

4  $F =$  כוח החיכוך

$n = ?$  תדירות (סל"ד)



ציור 122:

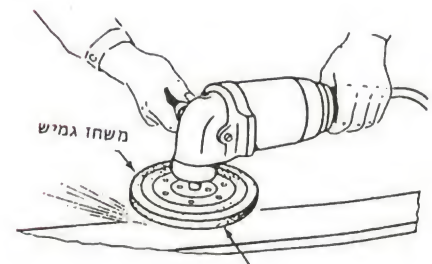
אבן משחזת נעצרת במשך 5 שניות על ידי כוח חיכוך של 9.42 ניוטון

נחשב תחילה את מומנט ההתמדה של הגלגל:

5  $I = \square \cdot \square \cdot R^2$

6  $I = \square \cdot \square \cdot (0.2)^2$

7  $I = \square \cdot \text{מטר}^2$



לפי החוק השני של ניוטון:  $I \cdot \alpha = R \cdot F$

8  $\alpha = \frac{R \cdot F}{I}$  מכאן:

9  $\alpha = \frac{1}{2 \cdot \text{שנייה}^2} \cdot \frac{\square \cdot \square}{\square}$

$\alpha = \frac{1}{2 \cdot \text{שנייה}^2} \cdot 31.4$

התאוצה הזוויתית  $\alpha$  שקיבלנו היא שלילית כי היא <sup>10</sup> (מגדילה/מקטינה) את המהירות הזוויתית של האבן המשחזת.

נתון:

התאוצה הזווית של אבן המשחזת  $\alpha = -\frac{1}{2 \text{ שנייה}} 31.4$   
 המהירות הזוויתית התחלתית של אבן  $\omega_0 = ?$   
 המשחזת (בתחילת הפעלת F חכי)  
 המהירות הזוויתית הסופית של אבן  $\omega = 0$   
 המשחזת (האבן המשחזת נעצרת)

לפי ההגדרה של  $\alpha$ :  $\alpha = \frac{\omega - \omega_0}{\Delta t}$

נציב את המספרים ונקבל עבור  $\omega$ :

$$\omega = \frac{1}{\text{שנייה}} 157$$

$$\omega = 2\pi f$$

מכאן ש:  $f = \frac{\omega}{2\pi}$

$$f = \frac{\boxed{\phantom{000}}}{\boxed{\phantom{000}}} \quad 11$$

$$f = \text{הרץ} \boxed{\phantom{000}} \quad 12$$

$$n = 60f$$

$$n = \boxed{\phantom{000}} \boxed{\phantom{000}} \quad 13$$

$$n = \text{סל"ד} \boxed{\phantom{000}} \quad 14$$

מלאת את המשימה! פנה למורה לקבלת שקף בקרה!

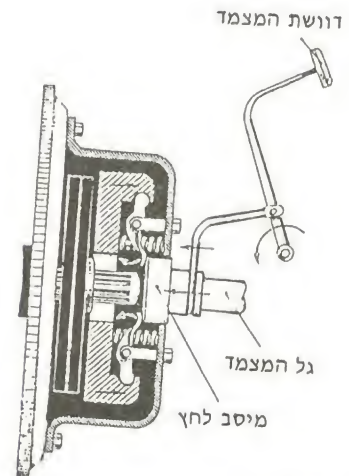


ש. מכי ג.4



#### 4.ה התנע הזוויתי ושימורו בגלגלים מסתובבים

## הגדרת התנע הזוויתי בהשוואה לתנע הקווי



ציור 123:

מערכת המצמד שבמכונית.  
גלגל התנופה מוצמד לגלגל  
ההנעה על ידי טס הלחץ

- 1

בטכנולוגיה קיימות דוגמאות רבות להצמדה של גלגלים מסתובבים.  
אחת הידועות שבהן היא מערכת המצמד שבמכונית (ציור 123).  
תפקיד המצמד לחבר את גלגל התנופה המסתובב עקב פעולת המנוע  
אל גלגל ההנעה המחובר אל גלגלי המכונית. גלגל התנופה של המנוע  
מתחבר אל גלגל ההנעה על ידי טס לחץ שתפקידו להדק את הגלגל  
המונע אל גלגל התנופה. כאשר לוחצים על דוושת המצמד משחררים  
את טס הלחץ, הגלגלים משתחררים זה מזה וגלגל התנופה מסתובב  
בנפרד.

- .2**

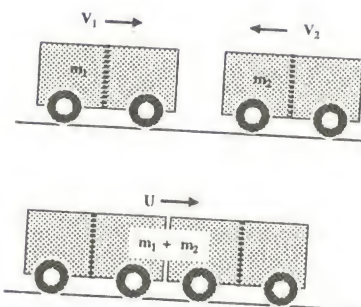
במצמד קיים תהליך של היצמדות שני גלגלים בעלי ציר משותף.  
 לשני הגלגלים מומנט התמדה I שונה ותדירות זוויתית  $\omega$  שונה.  
 לאחר ההיצמדות מסתובבים שני הגלגלים במהירות  $\omega$   
 (קווית/זוויתית) אחת. באותה מהירות זוויתית נע גם הסרן המניע  
 את גלגלי המכונית.

- .3

באופן כללי מדובר על היצמדותם של שני גלגלים בעלי ציר משותף. לכל אחד מהם מומנט התמדה I שונה. כל אחד מהם מסתובב במהירות זוויתית  $\omega$  שונה או שהאחד נח והשני מסתובב ונצמד אליו. השאלה המתבקשת היא מה תהיה מהירותם <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (ההיקפית/ הזוויתית) המשותפת של הגלגלים לאחר היצמדותם.

- .4

היכן נתקלנו בתופעה דומה של היצמדות שני גופים זה לזה שלא בתנועה זוויתית?  
ודאי הינכם זוכרים את ההתנגשות הפלסטית של שני גופים. למשל שתי מכוניות שמסותיהם  $m_1$  ו- $m_2$  ומהירויותיהן  $V_1$  ו- $V_2$  מתנגשות זו בזו ונעות לאחר ההתנגשות במהירות  $U$  (ציור 124).  
משותפת)  $U$  (ציור 124).  
4



ציור 124:

התנגשות קווית פלסטית בין שתי מסות. המסות שנו במהירויות התחלתיות  $V_1$  ו- $V_2$  נעות במשותף לאחר היצמדותן במהירות  $U$ .

- 5

למכונית השנייה היה תנע  $m_2 V_2$ . התנע הכולל שלהן היה  $m_1 V_1 + m_2 V_2$ .  
הסימנים של הביטויים הללו נקבעו לפי  $(\frac{V_1}{m_1} / m_1 V_1)$  (המסות/ כיווני המהירויות).  
5

- 6

הסימנים של הביטויים הללו נקבעו לפי \_\_\_\_\_ (המסות)  $m_1 V_1 + m_2 V_2$  כיווני המהירויות).

לפי חוק שימור <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (האנרגיה/התנע), התנע הכולל שלפני ההתנגשות שווה לתנע של שתי המסות יחדיו, כלומר:  $m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) U$  כאשר  $U$  הוא כאמור המהירות המשותפת של המסות  $m_1$  ו- $m_2$ .

5. בדומה לחוק שימור התנע הקווי קיים חוק שימור דומה לגבי גלגלים מסתובבים. בתנועה סיבובית יש גדלים פיסיקליים שונים שבעזרתם אנו מבצעים את החישובים השונים. במקום תנע קווי  $mV$  יש לנו תנע זוויתי.

- א. מומנט ההתמדה  $I$  בתנועה סיבובית מחליף את המסה  $m$ .  
 ב. המהירות הזוויתית  $\omega$  מחליפה את המהירות הקווית  $V$ .

כלומר, במקום תנע קווי  $mV$  עבור תנועה בקו ישר, עלינו לרשום תנע זוויתי  $I\omega$  עבור תנועה סיבובית.

$$\begin{aligned} V &\rightarrow \omega \\ m &\rightarrow I \\ mV &\rightarrow I\omega \end{aligned}$$

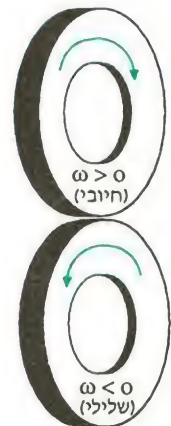
#### נסכם:

תנע זוויתי הוא המכפלה  $I\omega$  (מומנט ההתמדה מוכפל במהירות הזוויתית).



6. למהירות יש כיוון. מהירות  $V$  של גוף הנע ימינה תסומן בסימן חיובי ומהירות של גוף הנע שמאלה תסומן בסימן <sup>2</sup> \_\_\_\_\_ (שלילי/חיובי).

באותו אופן, המהירות הזוויתית  $\omega$  של גלגל המסתובב עם **כיוון השעון** (ציור 125) תסומן בסימן **חיובי** וזו של גלגל המסתובב נגד כיוון השעון תסומן בסימן <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (חיובי/שלילי). מכאן, שתנע זוויתי של גלגל המסתובב עם כיוון השעון יהיה <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (שלילי/חיובי) וזה של גלגל המסתובב נגד כיוון השעון יהיה <sup>5</sup> \_\_\_\_\_ (שלילי/חיובי).



ציור 125:

גלגל המסתובב עם כיוון השעון, מהירותו הזוויתית  $\omega$  חיובית

גלגל המסתובב נגד כיוון השעון, מהירותו הזוויתית  $\omega$  שלילית

## 7. חוק שימור התנע הזוויתי

את חוק שימור התנע הזוויתי נרשום במצב של היצמדות שני גלגלים המסתובבים סביב אותו ציר, העובר במרכז המעגלים ומאונך להם. בדומה לחוק שימור התנע הקווי בהתנגשות פלסטית, יירשם חוק שימור התנע הזוויתי בצורה:

$$I_1 \omega_1 + I_2 \omega_2 = (I_1 + I_2) \omega$$

$I_1$  ו- $I_2$  הם מומנטי ההתמדה של הגלגלים.  $\omega_1$  ו- $\omega_2$  הן מהירויותיהן הזוויתיות של הגלגלים לפני ההיצמדות.  $\omega$  המהירות הזוויתית לאחר ההיצמדות.

## נסכם:

חוק שימור התנע הזוויתי בהיצמדות של שני גלגלים בעל ציר (דמיוני) משותף הוא:

$$I_1 \omega_1 + I_2 \omega_2 = (I_1 + I_2) \omega$$



8. לפניך שני גלגלי תנופה הנתונים על גל משותף הניתן להצמדה (ציור 126). גלגל מספר 1 מסתובב בתדירות של 600 סל"ד ולו מומנט התמדה של 5 ק"ג · מ<sup>2</sup>.

לגלגל השני מומנט התמדה של 3 ק"ג · מ<sup>2</sup> והוא נמצא במנוחה. מצמידים את שני גלגלי התנופה בעזרת המצמד. מהי התדירות המשותפת שלהם בסל"ד?

פתרון:

נתונים:

מומנט ההתמדה של גלגל תנופה 1  $I_1 = 5 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2$

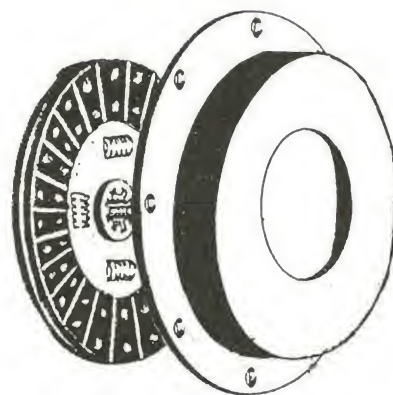
מומנט ההתמדה של גלגל תנופה 2  $I_2 =$  

תדירות הסיבוב של גלגל תנופה 1  $n_1 = 600 \text{ סל"ד}$

$f_1 = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} = 10$

$f_2 = 0$

תדירות משותפת  $n = ?$



ציור 126

גלגל תנופה בעל מומנט התמדה 5 ק"ג · מ<sup>2</sup>  
המסתובב בתדירות 600 סל"ד  
נצמד לגלגל אחר בעל מומנט התמדה 3 ק"ג · מ<sup>2</sup> הנמצא במנוחה

2

$$I_1 \omega_1 + I_2 \omega_2 = (I_1 + I_2) \omega$$

התדירות  $f_2$  שווה לאפס לכן:  $\omega_2 = 0$

$\omega_1 = 2\pi f_1$  נציב:

$$\omega = 2\pi f$$

ונקבל:

$$I_1 \cdot 2\pi \cdot f_1 = (I_1 + I_2) 2\pi f$$

$$f = \frac{5 \cdot 10}{5 + 3} = \frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}} 7.5 \quad (3)$$

$n = \text{סל"ד}$  \_\_\_\_\_ 4

9



1.2. אף כי ישנם מספרים רבים

$$I_1 2\pi f_1 = (I_1 + I_2) 2\pi f$$

NEED TO EVALUATE & IMPROVE:

UNOVICE ZVEKIV<sup>1</sup> ERJ NINJ UNEC IEIR<sup>1</sup>

רצ' יא' ת' ו' ענעלע זיין און נאך דאס

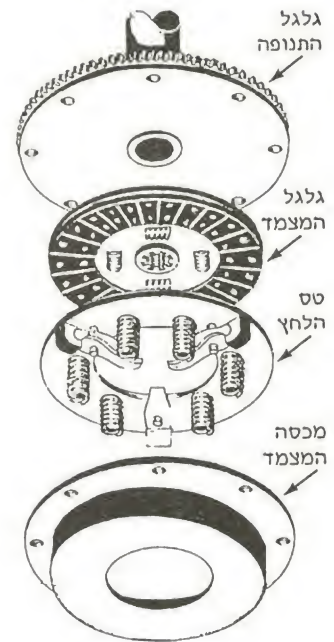


## 10. מצמד חד דיסקי

תפקידו של המצמד (או ה-clutch) במכונית הוא לחבר את גלגל התנופה המופעל על ידי מנוע המכונית לגלגל התנופה של המצמד. לאחר ההיצמדות של שני הגלגלים מתחבר גל הארכובה של המנוע עם מערכת הגלגלים המניעים את המכונית.

לפניך ציור של מערכת גלגלי התנופה (ציור 127). תפקידו של טס הלחץ להדק את גלגל המצמד אל גלגל התנופה. הקפיצים המצויים על טס הלחץ לוחצים בכוח רב את גלגל המצמד אל גלגל התנופה.

כאשר מבקשים להפסיק את העברת התנועה הסיבובית מגלגל התנופה לגלגל המצמד, לוחצים על דוושת המצמד (ראה ציור 123, סעיף 1ה.4). מיסב הלחץ משחרר את הקפיצים ואז משתחרר גלגל המצמד מ \_\_\_\_\_ (טס הלחץ/גלגל התנופה). כדי שההיצמדות בין גלגל התנופה לגלגל המצמד תהיה איתנה, מצמידים לגלגל המצמד שכבה של אובסט השזור בחוטי נחושת. החיכוך של שכבה זו גדול במיוחד ולכן הוא גורם להיצמדות חזקה של שני הגלגלים ולפעולה מקסימלית של גלגל התנופה.



ציור 127:  
מערכת המצמד במכונית

11. מסתו של גלגל תנופה ממוצע במכונית פרטית היא בערך 6 ק"ג ורדיוסו 0.2 מטר. מומנט ההתמדה  $I_1$  שלו הוא:

$$I_1 = \frac{1}{2} MR^2$$

$$I_1 = \frac{1}{2} \cdot \quad \cdot \quad (2)$$

$$I_1 = 0.12 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2$$

מסת גלגל המצמד עם טס הלחץ היא בערך 4 ק"ג. רדיוסו של גלגל המצמד זהה לזו של גלגל התנופה. מכאן, מומנט ההתמדה  $I_2$  של גלגל המצמד עם הטס הוא:

$$I_2 = \frac{1}{2} M_2 R^2$$

$$I_2 = \frac{1}{2} \cdot \quad \cdot \quad 3$$

$$I_2 = \quad 0.08 \quad 4$$

12. תדירות סיבוב המנוע של המכונית המוזכרת בסעיף הקודם, ולכן גם של גלגל התנופה שלה, היא 900 סל"ד. מהי תדירות הסיבוב של המערכת בעת היצמדות הגלגלים?

פתרון:

נתונים:

$$I_1 = 0.12 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2 \text{ מומנט ההתמדה של גלגל התנופה}$$

$$I_2 = 0.08 \text{ ק"ג} \cdot \text{מ}^2 \text{ מומנט ההתמדה של גלגל המצמד}$$

$$\omega_1 = 2\pi \cdot 900 \text{ מהירות זוויתית של גלגל התנופה}$$

---


$$n = ? \text{ התדירות המשותפת של שני הגלגלים}$$

לפי חוק שימור התנע הזוויתי:

$$I_1 \omega_1 = (I_1 + I_2) \omega$$

$$\omega = \frac{I_1 \omega_1}{I_1 + I_2}$$

$$\omega = \frac{\quad}{\quad} \quad (5)$$

$$\omega = 2\pi \cdot 540$$

$$n = 540 \text{ סל"ד}$$

נשים לב כי בגלל השוויון שבין התנעים, אין צורך לשנות את היחידות של התדירות. כלומר, התדירות  $n$  האמורה לעבור לתיבת ההילוכים קטנה ל <sup>6</sup> \_\_\_\_\_ סל"ד.

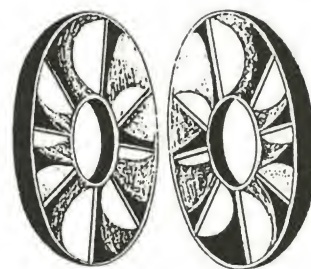
13. את התדירות של גלגל התנופה ניתן להגביר על ידי לחיצה על דוושת הבנוין והגדלת מספר סיבובי המנוע. הצמדת הגלגלים בתדירויות גבוהות גורמת במשך הזמן להקטנת החיכוך שביניהם ולהחלשת ההצמדה. זהו מצב שבו יש "בעיות" עם ה-clutch.

## 14. מצמד הידראולי

המצמד ההידראולי (ציור 128) פותר את בעיית החיכוך שבין הגלגלים. יתר על כן, הוא מונע זעזועים בשעת הצמדת המצמד. כמו כן, עלייה במהירות הרכב נעשית הדרגתית יותר בזמן לחיצה על דוושת הבנזין.

מצמד הידראולי בנוי משני גלגלים מחורצים הדומים במבנה שלהם לגלגלי טורבינה וביניהם נמצא שמן (ציור 129). גלגל התנופה מחובר לגלגל פעיל המסתובב באותה תדירות של גלגל התנופה ולגלגל סביל המונע על ידי השמן. השמן יוצר מומנט כוח על הגלגל הסביל. הגלגל הסביל ממלא את תפקיד גלגל המצמד ומתחיל להסתובב. גם כאן מתקיים חוק שימור התנע הזוויתי, אלא שהפעם המהירות הזוויתית המשותפת לא נוצרת בעקבות חיכוך אלא על ידי התנועה הסיבובית של השמן.

השמן, כמו שני הגלגלים, מגיע למהירות זוויתית אחידה שהיא \_\_\_\_\_ (קטנה/גדולה) יותר מאשר המהירות הזוויתית של גלגל התנופה. b



ציור 128:

גלגלים מחורצים המשמשים לבניית מצמד הידראולי

15. פתח אנציקלופדיה בריטניקה לנוער כרך י', שנת הוצאה 1977, בערך 'מצמד' שבעמוד 182, וענה על השאלות שלפניך:

1. מהם תפקידי המצמד במכונית?

\_\_\_\_\_ (1)

2. במה מצופה גלגל המצמד ומדוע?

\_\_\_\_\_ (2)

3. מה קורה כאשר הנהג לוחץ על דוושת המצמד?

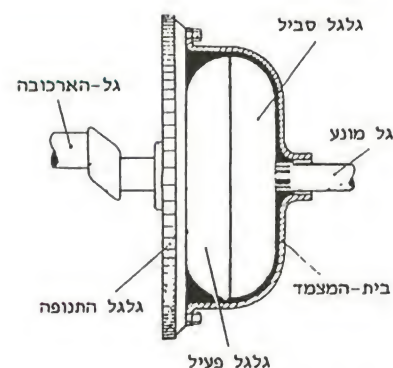
\_\_\_\_\_ (3)

4. מה קורה כאשר הנהג משחרר את דוושת המצמד?

\_\_\_\_\_ (4)

5. מהו מצמד אוטומטי וכיצד הוא פועל?

\_\_\_\_\_ (5)



ציור 129:

מצמד הידראולי

## נסכם:



בפרק זה הכרנו מושגים מתחום התנועה הסיבובית. ראינו כי בתנועה זאת מומנט ההתמדה  $I$  מחליף את המסה שבתנועה בקו ישר. הראינו כי החוק השני של ניוטון בתנועה סיבובית נכתב בצורה הבאה  $F \cdot R = I \cdot \alpha$ .  $FR$  הוא מומנט הכוח ו- $\alpha$  היא התאוצה הזוויתית. הכרנו את מושג התנע הזוויתי בהצמדה של שני גלגלי תנופה. ראינו כיצד מיישמים את החוק השני של ניוטון ואת שימור התנע הזוויתי בתחום הטכנולוגי.

סיימת עתה את פרק 4. פנה לרשימת היעדים שבתחילת הפרק ובדוק אם אכן הושגו.  
ענה על השאלות שלפניך:



1. מהו מומנט ההתמדה?  
① \_\_\_\_\_
2. במה תלוי מומנט ההתמדה של גלגל תנופה, וכיצד?  
② \_\_\_\_\_
3. רשום את החוק השני של ניוטון בגלגלים מסתובבים והסבר אותו.  
③ \_\_\_\_\_
4. הסבר את פעולתו של גלגל תנופה בעזרת מומנט כוח.  
④ \_\_\_\_\_
5. הסבר באופן פיסיקלי את האטת המשחזת בסדנה.  
⑤ \_\_\_\_\_
6. מהו תנע זוויתי?  
⑥ \_\_\_\_\_
7. הסבר את שימורו של התנע הזוויתי בהיצמדות של שני גלגלי תנופה.  
⑦ \_\_\_\_\_



8. מה ההבדל בין מצמד רגיל למצמד הידראולי?

1

---

---

---

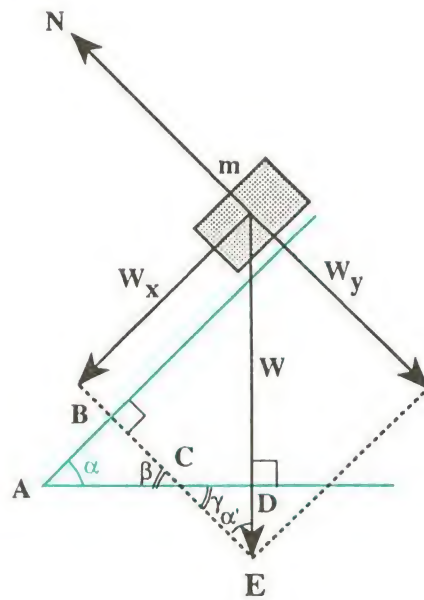
---

האם החומר ידוע לך היטב? פנה למורה כדי לקבל הדרכה לקראת המבחן.

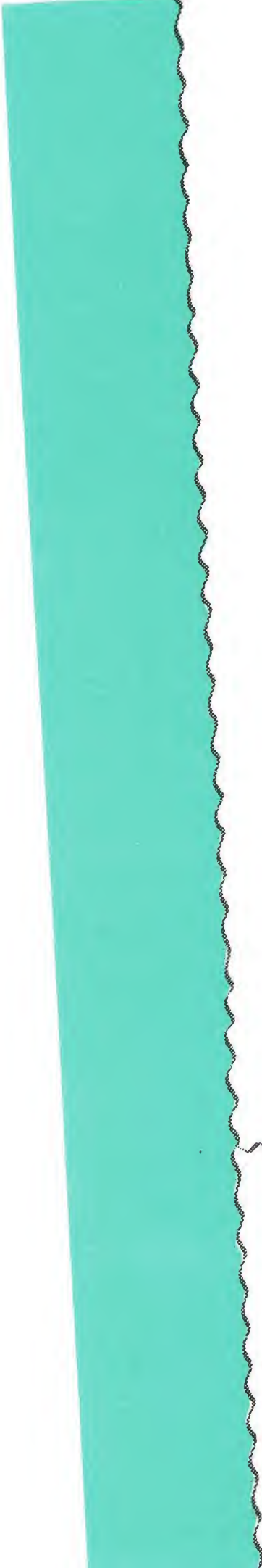


## נספח


נתון מישור משופע בעל זווית נטייה  $\alpha$ .  
 כוח הכובד  $W$  מתפרק לשני רכיבים  $W_x$  מקביל למדרון ו-  $W_y$  מאונך לו.  
 צריך להראות כי הזווית  $\alpha'$  שבין השוקיים  $W$  ו-  $W_y$  שווה ל-  $\alpha$ .  
 הוכחה:  
 הזוויות  $\beta$  ו-  $\gamma$  הן קודקודיות.  
 לכן  $\beta = \gamma$   
 המשולשים  $ABC$  ו-  $CDE$  ישרי זווית.  
 מכאן ש-  $\alpha$  משלימה את  $b$  ל-  $90^\circ$ , ו-  $\alpha'$  משלימה את  $\gamma$  ל-  $90^\circ$ ,  
 כאמור  $\beta = \gamma$   
 לכן  $\alpha = \alpha'$







תרגילי חזרה







## תרגילי חזרה לפרקים 1, 2

בשאלות רב-ברירתיות יש לסמן בעיגול את התשובה הנכונה.

1. גוף בעל מסה  $m$  נע בתנועה שוות מהירות ובקו ישר. שקול הכוחות הפועלים עליו שווה ל-:

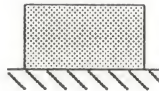
- |                    |   |   |
|--------------------|---|---|
| א. $ma$            | } | 1 |
| ב. אפס             |   |   |
| ג. $\mu \cdot N$   |   |   |
| ד. $W$ (משקל הגוף) |   |   |

2. גוף בעל מסה  $m$  נע בתנועה שוות תאוצה  $a$  ובקו ישר. שקול הכוחות הפועלים עליו שווה ל-:

- |                   |   |   |
|-------------------|---|---|
| א. אפס            | } | 2 |
| ב. $ma$           |   |   |
| ג. $\mu \cdot N$  |   |   |
| ד. $\mu \cdot mg$ |   |   |

3. גוף בעל מסה  $m = 5$  ק"ג נמצא במנוחה על מישור אופקי חלק.

א. צייר על הגוף, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליו.



- ב. הגוף נמצא <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (במנוחה/בתנועה שוות תאוצה/בתנועה שוות מהירות) כי כוח השקול הפועל עליו שווה ל- <sup>4</sup> \_\_\_\_\_ (50 ניוטון/25/0 ניוטון).
- ג. מפעילים על הגוף כוח בן 20 ניוטון בכיוון ימינה. חשב את התאוצה של הגוף.

---



---

4. למטוס בעל מסה של 360 טון, דרושה מהירות מינימלית של  $900 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  כדי להמריא מעל פני הקרקע. א. חשב את התאוצה הקבועה שמפתח המטוס, אם הוא משיג מהירות זו ב-10 שניות?

---



---

ב. חשב את אורך המסלול שעבר המטוס עד להמראתו.

---



---

ג. חשב את כוח השקול (המעשי) שפעל על המטוס בזמן המראתו.

---



---

5. על מזחלת שלג שמסתה 30 ק"ג פועל כוח אופקי של 45 ניוטון.  
הזנה את כוח החיכוך בין המזחלת לבין המשטח.  
א. חשב את תאוצת המזחלת.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ב. הכוח פעל במשך 3 שניות.  
חשב את הדרך שעברה המזחלת בזמן זה.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ג. חשב את מהירות המזחלת, כאשר הכוח הפסיק לפעול.

6. המצנח של הצנחנים נפתח באופן אוטומטי לאחר שלוש שניות.  
תנועתו של הצנחן במשך זמן זה היא:
- א. תנועה שוות מהירות.
  - ב. תנועה שוות תאוצה.
  - ג. נפילה חופשית.
  - ד. זריקה אנכית כלפי מעלה.

7. הכוח השקול (המעשי) הפועל על צנחן שמסתו 70 ק"ג במשך שלוש השניות הראשונות, הוא:
- א. אפס.
  - ב. 70 ניוטון.
  - ג. 700 ניוטון.
  - ד. 10 ניוטון.

8. חשב את מהירותו של צנחן ברגע שנפתח המצנח, שלוש שניות לאחר צניחתו החופשית.

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

9. עם פתיחת המצנח מפעיל האוויר כוח התנגדות הולך וגדל ככל שמהירות המצנח גדלה.  
א. צייר, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים על הצנחן.



- ב. חשב את הכוח השקול הפועל על צנחן בעל מסה 80 ק"ג,  
כאשר כוח התנגדות האוויר שווה ל-350 ניוטון.

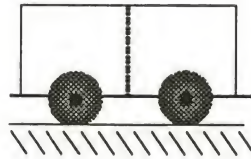
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

ג. חשב את התאוצה של הצנחן.

1

10. על קרונית משא שמסתה 4 טון פועל כוח בן 8000 ניוטון. כוח החיכוך הוא 2000 ניוטון.  
א. צייר על הקרונית, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליה.



ב. חשב את התאוצה של הקרונית.

2

11. מכונית שמסתה 1 טון נמצאת במנוחה בראש מדרון חלק. הבלם משתחרר והמכונית נעה כלפי מטה.  
א. חשב את תאוצת המכונית במורד המדרון, אם השיגה מהירות של  $5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  לאחר 10 שניות.

3

ב. צייר על המכונית, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליה.



4

ג. חשב בעזרת המחשבון המדעי את זווית המדרון  $\alpha$ .

5

12. מכונית צעצוע שמסתה 0.5 ק"ג נמצאת בראש מדרון שזווית השיפוע שלו  $\alpha = 30^\circ$ . מקדם החיכוך בין המשטח למכונית 0.2.

א. צייר על המכונית, לפי קנה מידה, את הכוחות הפועלים עליה.



6

ב. חשב את כוח הנורמל שמפעיל המדרון על המכונית.

7



ג. חשב את הכוח השקול (המעשי) שפועל על המכונית.

1

ד. חשב את התאוצה של המכונית במורד המדרון.

2

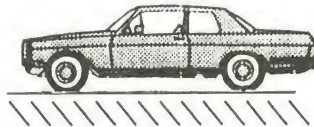
ה. חשב את אורך המדרון אם המכונית הגיעה לאחר 1.5 שניות לתחתית המדרון.

3

13. מכונית צעצוע שמסתה 1.5 ק"ג נעה על מישור אופקי בעל מקדם חיכוך 0.2.

ברגע שהמנוע כבה מהירות המכונית שווה ל-2.5  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

א. צייר, לפי קנה מידה, את המכונית ואת הכוחות הפועלים עליה, לאחר כיבוי המנוע.



4

ב. חשב את גודל תאוצת המכונית.

5

ג. חשב כמה זמן תנוע המכונית עד לעצירתה.

6

14. כדור הארץ מסתובב סביב צירו כל 24 שעות. רדיוסו 6,400 ק"מ.

א. מהו זמן המחזור של סיבוב כדור הארץ סביב צירו?

7

ב. חשב את תדירות סיבוב כדור הארץ סביב צירו.

8

ג. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את המהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על קו המשווה.

9

15. לפניך טבלה של תדירויות מקסימליות, או זמני מחזור מזעריים, של מכשירי סדנה שונים. מלא את המשבצות הריקות שבטבלה.

מכשיר	n (סל"ד)	f (סיבובים שנייה)	T (שניות)
מקדחה	3000	1	2
מחרטה	3	40	4
כרסומת	5	6	0.04

16. תדירות הסיבוב של אבן משחזת היא 2400  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{דקה}}$ . רדיוסה של האבן 10 ס"מ.

א. חשב בשניות את זמן המחזור של אבן המשחזת.

7

ב. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את המהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על היקפה החיצוני של האבן.

8

17. כדור שמסתו 2 ק"ג נע במעגל שרדיוסו 2 מטר ובמהירות היקפית קבועה של 5  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

א. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  את התאוצה הרדיאלית הפועלת על הכדור.

9

ב. חשב בניוטון את הכוח F השקול (המעשי) הפועל על הכדור.

10

18. ילד רץ במעגל שרדיוסו 5 מטר, והוא משלים בקצב קבוע סיבוב אחד כל 10 שניות.

א. חשב את תדירות הסיבוב של הילד.

11

ב. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את המהירות ההיקפית של הילד.

12

ג. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$  את התאוצה הרדיאלית הפועלת על הילד.

13

ד. חשב בניוטון את הכוח F השקול (המעשי) הפועל על הילד, אם מסתו היא 50 ק"ג.

14

19. א. כאשר מכונית נעה בתנועה מעגלית על כביש אופקי, הכוח השקול (המעשי) המונע את החלקתה הוא <sup>1</sup> \_\_\_\_\_ (כוח הנורמל/משקל המכונית/כוח החיכוך).

ב. חשב בניוטון את כוח החיכוך הדרוש למכונית כדי שתנוע בתנועה מעגלית, על כביש אופקי, במהירות של  $54 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$ .  
רדיוס המעגל הוא  $0.750 \text{ ק"מ}$  ומסת המכונית -  $1 \text{ טון}$ .

---

---

---

---

20. א. כדי למנוע החלקה של כלי רכב בסיבובים, מגביהים את השוליים החיצוניים של הכביש. הכוח השקול (המעשי) המונע החלקה הוא <sup>3</sup> \_\_\_\_\_ (כוח הנורמל/משקל המכונית/הרכיב האופקי של כוח הנורמל).

ב. צייר על המכונית שבציור את הכוחות הפועלים עליה. המכונית נמצאת על כביש מוגבה.



ג. הרכיב של כוח הנורמל הפועל על המכונית שבציור והמכוון למרכז הסיבוב הוא  $750 \text{ ניוטון}$ .  
מסת המכונית  $0.5 \text{ טון}$ .

חשב את המהירות ההיקפית של המכונית ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  אם רדיוס הסיבוב הוא  $100 \text{ מטר}$ .

---

---

---

21. הלוויין אופק מסתובב במרחק  $800 \text{ ק"מ}$  מעל פני כדור הארץ.

ערכו של  $g$ , תאוצת כדור הארץ, בגובה זה הוא  $8 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$ .

מסתו של הלוויין היא  $500 \text{ ק"ג}$ . רדיוס כדור הארץ  $6400 \text{ ק"מ}$ .

א. חשב בניוטון את הכוח השקול (המעשי) הפועל על הלוויין בגובה זה.

---

---

ב. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את המהירות ההיקפית של הלוויין.

---

---

ג. חשב בשניות את זמן המחזור של הלוויין.

---

---

## תרגילי חזרה לפרקים 3, 4

בשאלות רב-ברירתיות יש לסמן בעיגול את התשובה הנכונה.

1. התנע הוא:

- א. מכפלת הכוח שפועל על גוף בזמן פעולתו.
- ב. מכפלת המסה של גוף בתאוצתו.
- ג. מכפלת המסה של גוף במהירותו.
- ד. מכפלת מהירות של גוף בזמן.

2. יחידת התנע היא:

- א.  $\frac{\text{ק"מ} \cdot \text{ניוטון}}{\text{שעה}}$
- ב.  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}}$
- ג. ניוטון · שנייה
- ד.  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$

3. חשב את התנע של קליע ברגע שהוא יוצא מלוע האקדח, אם מסתו 4 גרם ומהירותו  $500 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

---

---

---

4. קליע שמסתו 5 גרם נורה לתוך שק שמסתו 995 גרם. מהירות השק עם הקליע לאחר הפגיעה היא  $2 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

א. חשב את התנע הכולל של השק עם הקליע.

---

---

---

ב. על סמך חוק שימור התנע, מהו התנע של הקליע לפני ההתנגשות?

---

---

---

ג. חשב את מהירות הקליע לפני התנגשותו בשק.

---

---

ד. התנגשות זו של הקליע בשק נקראת התנגשות <sup>7</sup> \_\_\_\_\_ (פלסטית/אלסטית) בגלל <sup>8</sup> \_\_\_\_\_ (שכן/שלא) נוצרת בה אנרגיית חום.



5. קרון רכבת ריק שמסתו 3 טון נע על פסי הרכבת בכיוון שמאל ובמהירות  $4 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . קרון שני עמוס שמסתו 6 טון נע לקראתו. לאחר ההתנגשות נעצרו שני הקרונות.  
א. חשב את התנע של הקרון הריק לפני ההתנגשות.

ב. מהו התנע הכולל של שני הקרונות לאחר ההתנגשות?

ג. חשב את מהירות הקרון העמוס לפני ההתנגשות?

ד. חשב את מהירות הקרון הריק לפני ההתנגשות?

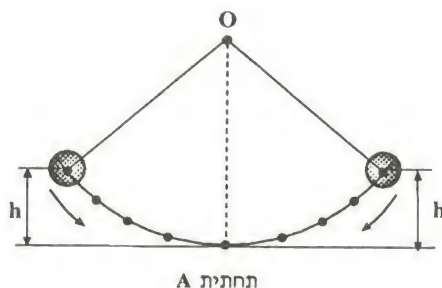
6. התנגשות פלסטית היא התנגשות שבה:

- א. נוצר חום.  
ב. נעות המסות המתנגשות יחדיו לאחר ההתנגשות.  
ג. קיימת המשוואה:  $m_1 V_1 + m_2 V_2 = (m_1 + m_2) V$   
ד. כל התשובות נכונות.

7. הנעת הטילים מבוססת על:

- א. חוק המשיכה העולמית.  
ב. חוק שימור התנע.  
ג. חוק שימור הלחצים.  
ד. העברת הלחצים בגזים.

8. במתקן המשמש את הניסוי מכי-41 משחררים, משני צדי המתקן ומאותו גובה, שני כדורים בעלי אותה מסה. ראה סרטוט.



תנעי הכדורים בתחתית A במקרה זה יהיו:

- א. שווים בערכם המוחלט אך סימנם הפוך.  
ב. שונים בערכם המוחלט אך באותו סימן.  
ג. שווים בערכם המוחלט אך סימנם הפוך.  
ד. שווים בערכם המוחלט אך באותו סימן.

9. חץ שמסתו 60 גרם נורה במהירות  $90 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  ונגעץ בתפוח שמסתו 240 גרם, הנמצא במנוחה. החץ והתפוח ממשיכים לנוע ביחד.

א. חשב את התנע של החץ לפני נעיצתו בתפוח.

(1)

ב. חשב את מהירותם המשותפת של החץ והתפוח.

(2)

10. כדור שמסתו 5 ק"ג נע במהירות  $36 \frac{\text{ק"מ}}{\text{שעה}}$  בכיוון ימינה, בעקבות כדור שני שמסתו 2 ק"ג שנע ימינה במהירות  $5 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ . לאחר ההתנגשות האלסטית, הכדור הראשון נע ימינה במהירות  $8 \frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$ .

א. חשב ב-  $\frac{\text{ק"ג} \cdot \text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את התנע של הכדור הראשון לפני ההתנגשות.

3

ב. חשב את המהירות של הכדור השני לאחר ההתנגשות. מהו כיוונה?

4

11. מהירות זוויתית של נקודה הנמצאת על גלגל מסתובב היא:

א. המהירות של הגלגל.

ב. הזווית שמתאר הרדיוס בשנייה אחת.

ג. הזווית שמתאר הרדיוס בסיבוב אחד.

ד. מהירות של הנקודה כשהיא מתארת זווית  $90^\circ$ .

5

12. היחידה של המהירות הזוויתית היא:

א.  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$

ב.  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}^2}$

ג.  $\frac{1}{\text{שנייה}}$

ד. שנייה · מטר

6

13. גלגל מכונית שרדיוסו 20 ס"מ מסתובב בתדירות של 1500 סל"ד.

א. חשב ב-  $\frac{\text{מטר}}{\text{שנייה}}$  את המהירות ההיקפית של נקודה הנמצאת על היקף הגלגל.

---

---

---

ב. חשב את המהירות הזוויתית של נקודה על היקף הגלגל.

---

---

---

14. תאוצה זוויתית של נקודה הנמצאת על גלגל מסתובב היא:

א. שינוי המהירות ההיקפית במשך שנייה אחת.

ב. תוספת המהירות הזוויתית לאחר סיבוב אחד.

ג. תוספת המהירות ההיקפית לאחר סיבוב אחד.

ד. שינוי המהירות הזוויתית במשך שנייה אחת.

} 3

15. גלגל מכונית שרדיוסו 20 ס"מ מסתובב בתדירות של 600 סל"ד. תדירותו גדלה ל-1200 סל"ד תוך 10 שניות.

א. חשב ב-  $\frac{1}{\text{שנייה}^2}$  את התאוצה הזוויתית של הגלגל.

---

---

---

ב. חשב את התאוצה ההיקפית של נקודה הנמצאת על היקף הגלגל.

---

---

16. חשב ב- ק"ג . מטר<sup>2</sup> את מומנט ההתמדה של גלגל מלא ואחיד אם מסתו 3 ק"ג ורדיוסו 20 ס"מ.

---

---

17. מסתו של גלגל התנופה של גנרטור היא 10 ק"ג ורדיוסו 0.2 מטר.

א. חשב את מומנט ההתמדה של הגלגל.

---

---

---

ב. חשב את התאוצה הזוויתית של הגלגל, אם החבל הכרוך על גבי הגלגל גרם תוך 10 שניות לסיבובו בתדירות של 600 סל"ד.

---

---

---

ג. חשב בניוטון את הכוח שהופעל על החבל הכרוך על גבי גלגל התנופה.

1

18. אבן משחזות שמסתה 2 ק"ג ורדיוסה 20 ס"מ נעצרת במשך 4 שניות, כאשר מופעל עליה כוח חיכוך של 12.56 ניוטון.

א. חשב את התאוצה הזוויתית של אבן המשחזות.

2

ב. מה משמעות הסימן השלילי שקיבלת עבור התאוצה?

3

ג. חשב את התדירות ב-  $\frac{\text{סיבובים}}{\text{שנייה}}$  ובסל"ד של אבן המשחזות לפני הפעלתו של הכוח.

4

19. דיסקה שרדיוסה 1 מטר ומסתה 2 ק"ג יכולה לנוע באופן חופשי על ציר אופקי במרכזו. כוח קבוע של 5 ניוטון המשיק לדיסקה גורם לסיבובה.

א. חשב את מומנט ההתמדה של הדיסקה.

5

ב. חשב את התאוצה הזוויתית הנוצרת.

6

20. שני גלגלי תנופה נתונים על גל משותף הניתן להצמדה.

גלגל אחד, שמסתו 5 ק"ג ורדיוסו 1 מטר, מסתובב בתדירות של 300 סל"ד. גלגל שני, שמסתו 3 ק"ג ורדיוסו 1 מטר, נמצא במנוחה.

א. חשב את מומנט ההתמדה של שני הגלגלים.

7

ב. מצמידים את שני גלגלי התנופה בעזרת מצמד.

חשב את התדירות המשותפת שלהם.

8



